



Escola Politècnica Superior
de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO DE FIN DE CARRERA

TÍTULO DEL TFC: Diseño y puesta en marcha de un banco de medidas de caracterización de diodos láser semiconductores

TITULACIÓN: Ingeniería Técnica de Telecomunicación especialidad en Sistemas de Telecomunicación

AUTOR: Eduard Tous Requillard

DIRECTOR: Concepción Santos Blanco

FECHA: 28 de septiembre de 2010

Título: Diseño y puesta en marcha de un banco de medidas de caracterización de diodos láser semiconductores

Autor: Eduard Tous Requillard

Director: Concepción Santos Blanco

Fecha: 28 de septiembre de 2010

Resumen

Durante la década de los 60 nacen los primeros láser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Desde entonces su desarrollo y perfeccionamiento ha sido muy importante. Debido al reducido tamaño, coste y consumo y a la eficiencia, fiabilidad y durabilidad de este último, su uso se ha extendido en campos tan dispares como la electrónica de consumo, las tecnologías de la información, el análisis en ciencia, los métodos de diagnóstico y tratamiento en medicina, así como el mecanizado, soldadura o sistemas de corte en sectores industriales y militares, entre otros.

Gracias a las propiedades particulares del haz de radiación luminosa de potencia concentrada, el láser se ha convertido en una herramienta ideal en muchas aplicaciones donde se precise de una fuente controlada y localizada de energía. Su luz directiva, coherente y monocromática y la facilidad para su control automático han permitido un gran abanico de aplicaciones que se han multiplicado gracias a la aparición del diodo láser semiconductor.

Por todo ello creímos muy importante poner en marcha un banco de medidas de caracterización de diodos láser semiconductores para estudiar y caracterizar este dispositivo. En este sentido ampliamos el banco para poder heterodinar dos láseres y así poder estudiar diferentes tipos de modulaciones utilizadas en comunicaciones ópticas.

Title: Implementation of a measures characterization bank of semiconductors laser diodes.

Author: Eduard Tous Requillard

Director: Concepción Santos Blanco

Date: September, 28th 2010

Overview

During the decade of the 60 the first laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) was born. Since then, its development and improvement has been significant. Its coherent and monochromatic light and the ease of automatic control have enabled a wide range of applications that have proliferated with the advent of semiconductor laser diode.

Due to its small size, cost, consumption and efficiency, reliability and durability its use has spread in fields as diverse as consumer electronics, information technology, science analysis, methods of diagnosis and medical treatment and machining, welding or cutting systems in industrial and military sectors, among others.

Thanks to the particular properties of the beam of concentrated light power radiation, the laser has become a useful tool for many applications that need a controlled and localized source of energy.

Therefore we felt very important to implement a measurement lab station for semiconductor laser diodes characterization to study and characterize this kind of devices. Besides the basic output power and wavelength characterization, the measurements lab station allows for high accuracy optical spectrum measurement in the electrical domain using an electrical spectrum analyzer, achieved by optical heterodyning of two lasers. The measurements lab station built within this TFC should open the door to exploration of different types of modulations used in optical communications

AGRADECIMIENTOS

Aprovecho estas líneas para acordarme de todas aquellas personas que nunca confiaron en mí y nunca lograron su objetivo.

Quiero dedicar este TFC a toda mi familia. Principalmente quiero dedicárselo a mi abuelo Gilbert y a mis padres sin los cuales nada de todo esto podría haber sido posible. Gracias por vuestra paciencia, esfuerzo y dedicación.

Agradecer a todas aquellas personas que me han soportado y ayudado durante todos estos años, acordándome especialmente de Marina.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. CONCEPTOS BÁSICOS	3
1.1 Fenómenos físicos	3
1.1.1 Bandas de energía	3
1.1.2 Procesos ópticos	3
1.1.3 Principio de funcionamiento del láser	4
1.1.4 DFB	5
1.2 El diodo láser semiconductor	5
1.2.1 Tipos de estructura	6
1.2.2 El TEC	7
1.2.3 El Termistor	7
1.2.4 El Fotodiodo	7
1.3 Aplicaciones en los sistemas de comunicación	7
1.3.1 Las ventanas de transmisión en la fibra	7
1.3.2 Conversiones de ancho de banda	8
1.4 Heterodinaje	9
CAPÍTULO 2. EL BANCO DE PRUEBAS	11
2.1 El diodo láser	11
2.2 Los zócalos Thorlabs	12
2.3 Los controladores de corriente y temperatura ILX	14
2.3.1 Controlador de temperatura y corriente ILX LDC 3724B	14
2.3.1.1 Descripción	14
2.3.1.2 Manejo básico	15
2.3.1.3 Calibración y ajustes de protección	16
2.3.2 Controlador de temperatura ILX LDT 5412	18
2.3.3 Controlador de corriente ILX LDX 3620	19
2.4 El detector opto-eléctrico	19
2.5 El acoplador	20
2.6 El analizador de espectro óptico	20
2.7 El analizador de espectro eléctrico	21
2.8 Fuente de alimentación	21
2.9 Generador de funciones	22
2.10 Osciloscopio	22
2.11 Multímetro óptico programable	22
2.12 El cableado utilizado	23
2.13 Conectores ópticos	23
2.14 Kit de limpieza	24
CAPÍTULO 3. INTERFAZ ZÓCALO-CONTROLADOR	25
3.1 Estudio de zócalos y controlador	25
3.1.1 El zócalo	25

3.1.1.1	Los puertos de control	26
3.1.1.2	Estudio práctico del módulo 28-PIN DIL	27
3.1.2	El controlador	28
3.1.3	Reparación del circuito impreso	28
3.1.4	Realización del cable interfaz	29
3.2	Función INTERLOCK	30
3.2.1	Análisis del circuito impreso del LDH BFY-B	31
3.2.2	El análisis del controlador y cables de ambas compañías	31
3.2.3	Pruebas y conclusiones	32
3.3	Comprobación de funcionamiento de zócalos	32
3.4	Una solución barata	34
CAPÍTULO 4. CARACTERIZACIÓN DE LOS DIODOS LÁSER		36
4.1	Caracterización manual	36
4.2	Caracterización automática	38
CAPÍTULO 5. PRUEBAS EXPERIMENTALES EN EL BANCO DE MEDIDAS		41
5.1	Modulación RF	41
5.1.1	Cálculos previos	41
5.1.2	Realización práctica	42
5.2	Heterodínaje	43
CONCLUSIONES Y LINEAS DE FUTURO		47
ANEXO I. TIPOS DE LÁSERES		51
	El láser de Rubí	51
	El láser de Helio-Neón	51
	El láser de Argón ionizado	51
	El láser de CO ₂	52
	El láser de gas dinámico de CO ₂	52
	El láser de soluciones líquidas orgánicas	53
	El láser de electrones libres	53
ANEXO II. APLICACIONES DEL LÁSER		54
	Aplicaciones en la medicina	54
	Aplicaciones en la holografía	54
	Aplicaciones en la ingeniería mecánica	55
	Aplicaciones en los sistemas de telecomunicaciones y sistemas informáticos	55
	Resumen	55
ANEXO III. GRÁFICAS Y CÓDIGO DE LA CARACTERIZACIÓN AUTOMÁTICA		56
ANEXO IV. GRÁFICAS Y TABLAS DE LA CARACTERIZACIÓN MANUAL		63

INTRODUCCIÓN

Durante la década de los sesenta aparecen los primeros láseres, fuentes luminosas que funcionan bajo el principio de amplificación de luz por emisión estimulada de radiación.

Gracias a las propiedades particulares del haz de radiación luminosa de potencia concentrada, el láser se ha convertido en una herramienta ideal en muchas aplicaciones donde se precise de una fuente controlada y localizada de energía. Su luz directiva, coherente y monocromática y la facilidad para su control automático han permitido un gran abanico de aplicaciones que se han multiplicado gracias a la aparición del diodo láser semiconductor. Debido al reducido tamaño, coste y consumo y a la eficiencia, fiabilidad y durabilidad de este último, su uso se ha extendido en campos tan dispares como la electrónica de consumo, las tecnologías de la información, el análisis en ciencia, los métodos de diagnóstico y tratamiento en medicina, así como el mecanizado, soldadura o sistemas de corte en sectores industriales y militares, entre otros.

Una de las aplicaciones importantes de los láseres semiconductores se encuentra en los sistemas de transmisión ópticos mediante fibra óptica. Debido a sus mínimas pérdidas de señal y a sus óptimas propiedades de ancho de banda, se ha convertido en el medio de transmisión principal para los sistemas de comunicación. Desde sus primeras instalaciones en las líneas que enlazaban las grandes centrales de conmutación, la fibra se está trasladando hoy en día hasta los mismos hogares. Este papel destacado de la fibra óptica es debido a sus muchas propiedades favorables. Es un medio técnicamente idóneo para el desarrollo de las comunicaciones. Su gran capacidad de transmisión, su reducida atenuación de la señal y su inmunidad frente a interferencias electromagnéticas han permitido abrir las verdaderas autopistas de la información.

El estudio y caracterización de láseres semiconductores es por tanto de primordial importancia en las comunicaciones. Por ello en el laboratorio D3-S105 de la *UPC Campus Nord* nos interesa disponer de un banco de pruebas automatizado que permita de forma directa y sencilla obtener las principales características de un diodo láser semiconductor. Entre ellas se encuentran la función de transferencia de la potencia de salida en función de la corriente de alimentación, la dependencia de la longitud de onda a la corriente y temperatura del láser, las características de la modulación mediante señales de RF, la eficiencia de modulación y el espectro óptico medido en un analizador de espectro eléctrico a partir del heterodinaje con otro láser de longitud de onda similar; para este último será necesario el uso de dos diodos láser semiconductores.

Nos proponemos pues como objetivo principal del proyecto la puesta en marcha de un banco de caracterización de diodos láser semiconductores con el que poder observar y analizar el comportamiento de los láseres utilizados como fuentes lumínicas y moduladores básicos en la fibra óptica. Las medidas

básicas que nuestro banco permitirá realizar de forma rápida y sencilla proporcionarán la experiencia y la base necesaria para avanzar en proyectos de investigación novedosos en que el diodo láser será el dispositivo generador de luz en sistemas de transmisión óptica. Para la obtención de estas medidas deberemos optimizar el uso de los recursos disponibles buscando en lo posible soluciones de bajo coste.

En primer lugar explicaremos los elementos de los que se compone nuestro banco de pruebas con explicaciones detalladas para la correcta puesta en marcha. En segundo lugar detallaremos las implementaciones llevadas a cabo para el funcionamiento de los láseres, con la creación de un cable interfaz para hacer compatible hardware de diferente estructura. En tercer lugar realizaremos las medidas de caracterización tanto manuales como automáticas con la ayuda de un software propio creado para este proyecto. Finalmente realizaremos una serie de pruebas experimentales con las que determinar el alcance y objetivos futuros de nuestro banco de pruebas.

CAPÍTULO 1. CONCEPTOS BÁSICOS

1.1 Fenómenos físicos

1.1.1 Bandas de energía

Los electrones asociados a un determinado material pueden adquirir niveles discretos de energía dentro de unos valores determinados que son propios y característicos del material. A su vez estos niveles discretos de energía se asocian en bandas que pueden ser fundamentalmente de dos tipos.

La Banda de Valencia cuyos electrones están ligados a los átomos del material y la Banda de Conducción cuyos electrones pueden moverse por el material. En la figura 1.1 podemos observar un esquema de las mismas.

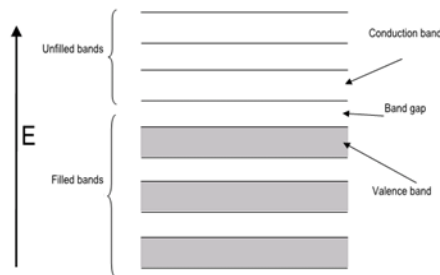


Fig. 1.1 Esquema de las bandas

La separación entre la banda de valencia y la de conducción se denomina la brecha de energía (gap en inglés), no existiendo ningún nivel energético posible dentro de ésta zona.

1.1.2 Procesos ópticos

Hay tres procesos básicos que se producen en la generación del láser. La absorción, la emisión espontánea y la emisión estimulada.

El proceso de absorción sucede cuando un fotón incide sobre un electrón y éste lo absorbe. El sistema atómico se excita a un estado de energía más alto, pasando un electrón a un nivel de energía superior. Este fenómeno compite con el de la emisión estimulada de radiación.

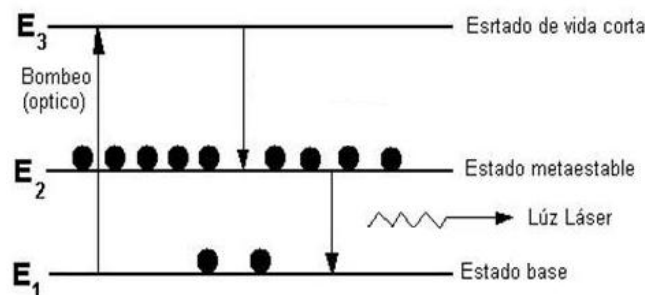


Fig. 1.2 Esquema de los procesos

En la emisión espontánea los electrones que vuelven al estado fundamental o banda de valencia des de la banda de conducción, emiten fotones. Es un proceso aleatorio. La radiación resultante está formada por fotones que se desplazan con direcciones, fases y polarizaciones distintas.

La emisión estimulada se produce cuando un electrón en estado excitado (banda de conducción) recibe un estímulo externo que lo lleva a pasar a la banda de valencia, liberando energía en forma de fotones. El estímulo en cuestión proviene de la llegada de un fotón con energía similar a la brecha de energía entre los dos estados. Los fotones así emitidos por el electrón estimulado poseen fase, energía y dirección iguales a las del fotón externo que les dio origen. La emisión estimulada es la raíz de muchas de las características de la luz láser. No sólo produce luz coherente y monocroma, sino que también "amplifica" la emisión de luz ya que por cada fotón que incide sobre un electrón excitado se genera otro fotón que a su vez es susceptible de generar otro.

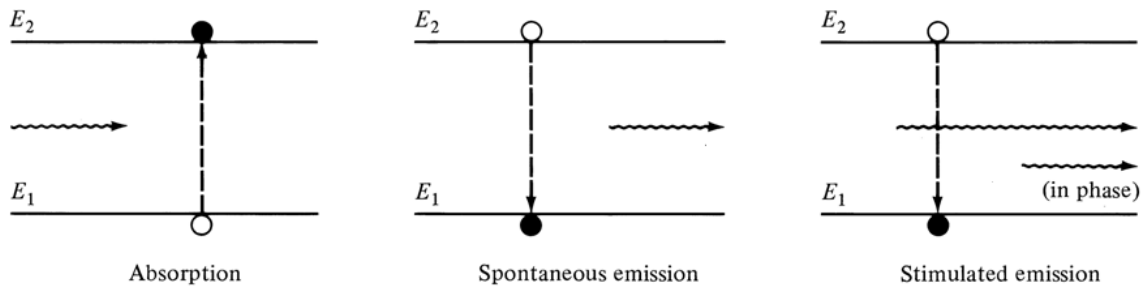


Fig. 1.3 Tipos de emisión

Para que la emisión estimulada sea superior a la absorción se requiere inversión de población, esto significa que la gran mayoría de electrones libres se sitúan en la banda de conducción, mientras que la banda de valencia tenga una ocupación inferior.

1.1.3 Principio de funcionamiento del láser

La emisión de luz en los materiales se consigue cuando los electrones que se hallan liberados de su átomo en un estado de alto energía son de nuevo captados por un átomo. En ciertos materiales el exceso de energía que se libera puede emitirse en forma de radiación luminosa.

En los materiales semiconductores, entre los estados de valencia (e ligado al átomo) y los de conducción (e liberado del átomo) existe un valor determinado de energía. El valor de este gap es típico del material semiconductor y determina la longitud de onda a la que puede emitir.

La figura 1.4 muestra la estructura básica de un diodo láser. Se trata de una unión P-N polarizada en directa y colocada en una cavidad que favorece una concentración de fotones alta que maximiza la probabilidad de las colisiones

fotón-electrón de forma que aumente la probabilidad de que se generen fotones por emisión estimulada en una especie de proceso en cascada.

Por encima de un umbral de corriente determinado (*threshold*), conseguimos enviar a la banda de conducción suficientes electrones como para obtener la inversión de población necesaria para liberar energía en forma de radiación láser.

La cavidad se forma gracias a espejos semireflectantes a cada lado de la unión p-n. Este tipo de cavidad se denomina de Fabry-Perot y para las dimensiones de láseres típicas da lugar a láseres multimodo. Es decir que permiten la generación de radiación láser a un número de longitudes de onda discretas. En comunicaciones nos interesa disponer de láseres monomodo y por tanto se trata de evitar que haya diferentes longitudes de onda posibles en la cavidad. Eso se consigue mediante estructuras de realimentación distribuida (Distributed Feedback -DFB- como las que se explican a continuación).

1.1.4 DFB

Un láser de realimentación distribuida (DFB) es un tipo de diodo láser en el que la región activa del dispositivo está periódicamente estructurada como una red de difracción. La estructura se basa en un sistema unidimensional cerrado (dispersión de Bragg) y la rejilla óptica proporciona información para el láser. El periodo de la estructura nos da la longitud de onda del láser de acuerdo con la condición de Bragg (ver ecuación 1.1).

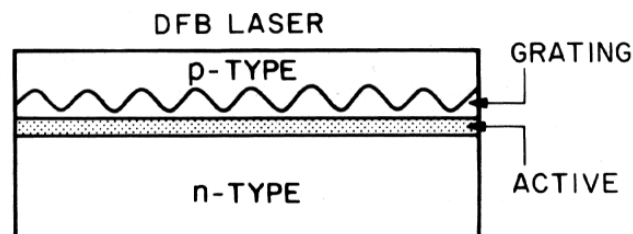


Fig. 1.4 Esquema de un láser DFB

La ley de Bragg permite estudiar las direcciones en las que la difracción de rayos sobre la superficie de un cristal produce interferencias constructivas, dado que permite predecir los ángulos en los que los rayos son difractados por un material con estructura atómica periódica (materiales cristalinos). La interferencia es constructiva cuando la diferencia de fase entre la radiación emitida por diferentes átomos es proporcional a 2π . Esta condición se expresa en la ley de Bragg:

$$n\lambda = 2d\sin(\theta) \quad (1.1)$$

1.2 El diodo láser semiconductor

En el mercado podemos encontrar diferentes tipos de encapsulados de diodos láser semiconductores como podemos ver en la figura 1.5.

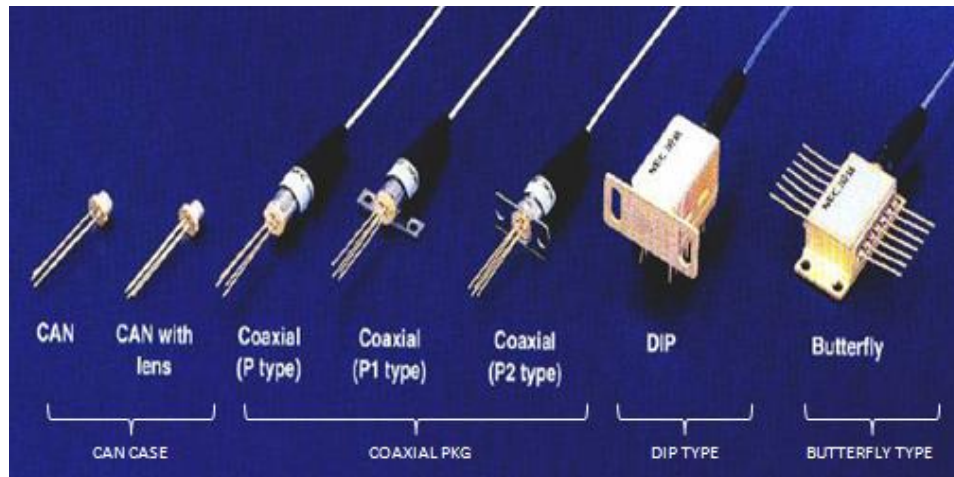


Fig. 1.5 Tipos de encapsulado

Los 14-PiN butterfly DFB son los más utilizados actualmente. A continuación vamos a proceder a explicar sus características de implementación más importantes.

1.2.1 Tipos de estructura

Los encapsulados butterfly pueden tener 3 estructuras diferentes. Las principales diferencias son la presencia o ausencia de un modulador interno y el pineado externo de los dispositivos internos tales como el láser, el TEC, el fotodiodo o el Thermistor. En la siguiente figura 1.6 podemos ver los tres tipos.

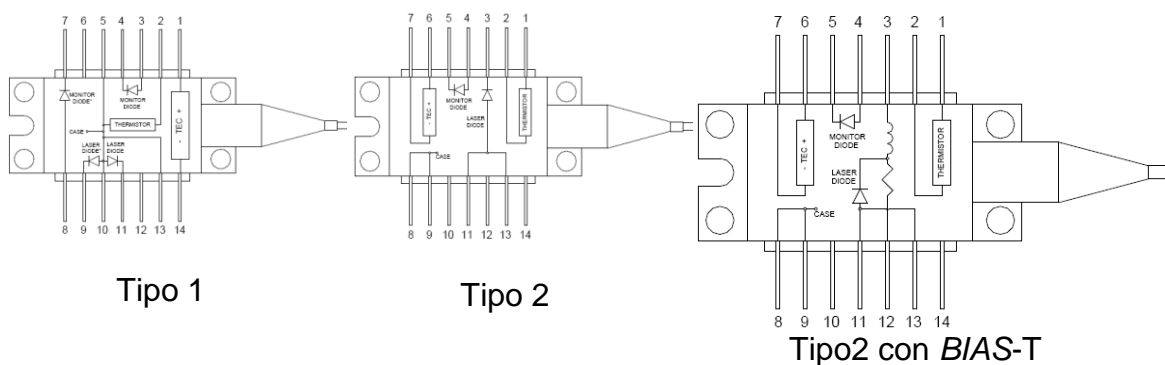


Fig. 1.6 Los diferentes tipos de LD butterfly

Los elementos de control de temperatura y de corriente, respectivamente TEC-termistor y fotodiodo, son usualmente controlados externamente mediante instrumentos de laboratorio relativamente complejos y costosos. Estos son los controladores de temperatura y de corriente que describiremos en el capítulo siguiente.

Para conectar los diodos butterfly a los dispositivos de control suelen usarse zócalos de conexión en los que se insertan los diodos y que proporcionan conexión a cables estándar adecuados. El zócalo es pues el elemento de interconexión entre el diodo en encapsulado butterfly y el cable estándar que va al dispositivo de control.

1.2.2 El TEC

El Thermo Electric Cooler es un dispositivo interno cuya función principal es el de enfriar o calentar a través del efecto Peltier. El efecto Peltier ocurre cuando una corriente pasa a través de dos metales similares o semiconductores (tipo-n y tipo-p) que están conectados entre sí en dos uniones (uniones Peltier). La corriente origina una transferencia de calor desde una unión hasta la otra: una unión se enfría mientras que la otra se calienta.

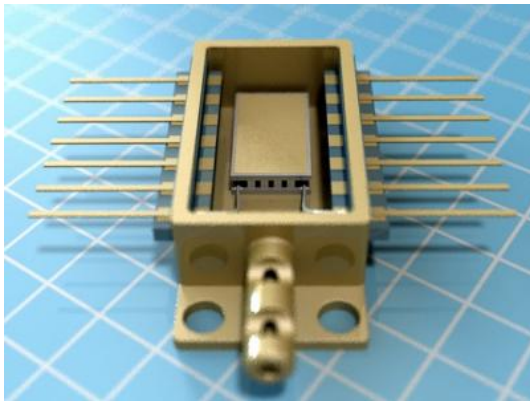


Fig. 1.7 El TEC dentro del encapsulado butterfly

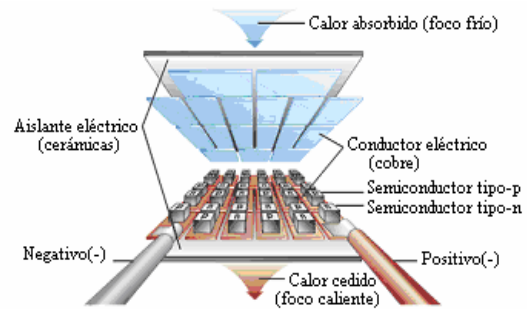


Fig. 1.8 Estructura interna del TEC

1.2.3 El Thermistor

Un thermistor es el sensor resistivo de temperatura que poseen actualmente la gran mayoría de diodos láser. Su funcionamiento se basa en la variación de la resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura. Es el elemento encargado de proporcionar la información del estado de la temperatura a los controladores de temperatura.

El término termistor proviene de Thermally Sensitive Resistor. Se les denomina NTC (Negative Temperature Coefficient) o PTC (Positive Temperature Coefficient) en función de si su coeficiente de temperatura es negativo o bien positivo.

1.2.4 El Fotodiodo

Los fotodiodos son diodos sensibles a la luz. Generan un voltaje de corriente continua proporcional a la cantidad de luz que incide sobre su superficie; corresponden a diodos de unión PN polarizados en inversa cuyas características eléctricas dependen de la cantidad de luz que le incide. Se utilizan como medidores y sensores de luz. Es el elemento encargado de proporcionar la información del estado de corriente al controlador de corriente.

1.3 Aplicaciones en los sistemas de comunicación

1.3.1 Las ventanas de transmisión en la fibra

La aplicación principal que se le ha dado al diodo láser semiconductor es la de fuente lumínica para las comunicaciones por fibra óptica. La figura 1.9 nos muestra la atenuación en dB/Km de la luz que atraviesa el cristal de silicio, que es el material del que están hechas las fibras. Se observa que existen 3 mínimos locales de atenuación que se conocen como ventanas de transmisión.

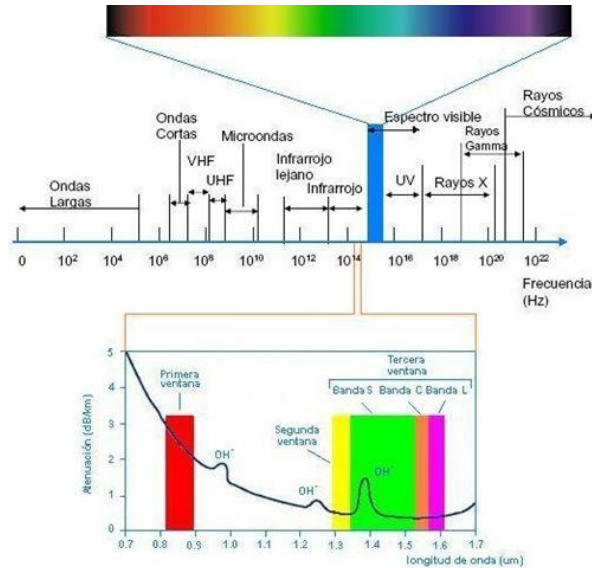


Fig. 1.9 Las tres ventanas y su situación en el espectro frecuencial

Los primeros sistemas se implantaron con diodos láser que trabajaban a 850nm (primera ventana) que es la longitud de onda de emisión típica del silicio. A medida que se fue disponiendo de láseres de 1300nm (segunda ventana) gracias al desarrollo de la tecnología, las aplicaciones se desplazaron hacia esa longitud de onda. Debido a que la atenuación a través de la fibra es menor, actualmente se trabaja con láseres que funcionan alrededor de los 1550nm (tercera ventana). Pese a que la atenuación en la tercera ventana es menor que en la segunda, es importante destacar que tenemos más dispersión. La tercera ventana a su vez se divide en tres bandas, la banda S (1400-1500nm), la banda C (1530-1562nm), y la banda L (1570-1620nm).

1.3.2 Conversiones de ancho de banda

Podemos hacer una aproximación de conversión para pasar un ancho de banda óptico a un ancho de banda eléctrico y viceversa.

Sabemos que:

$$\Delta f = \frac{c}{\lambda_2} - \frac{c}{\lambda_1} = \frac{c(\lambda_1 - \lambda_2)}{\lambda_2 \lambda_1} \quad (1.2)$$

Si consideramos que:

$$\Delta \lambda = \lambda_1 - \lambda_2 \quad (1.3)$$

$$\lambda_2 = \lambda_0 - \frac{\Delta\lambda}{2} \quad (1.4)$$

$$\lambda_1 = \lambda_0 + \frac{\Delta\lambda}{2} \quad (1.5)$$

Obtenemos:

$$\Delta f = \frac{c \cdot \Delta\lambda}{\left(\lambda_0 - \frac{\Delta\lambda}{2}\right)\left(\lambda_0 + \frac{\Delta\lambda}{2}\right)} = \frac{c \cdot \Delta\lambda}{\left(\lambda_0^2 - \frac{\Delta\lambda^2}{4}\right)} \quad (1.6)$$

Si consideramos que:

$$\Delta\lambda \ll \lambda_0 \quad (1.7)$$

Obtenemos:

$$\Delta f \approx \frac{c}{\lambda_0^2} \Delta\lambda \leftrightarrow \Delta\lambda \approx \frac{\lambda_0^2}{c} \Delta f \quad (1.8)$$

Si queremos saber la aproximación de por ejemplo 1 pm en tercera ventana:

$$\Delta f \approx \frac{c}{\lambda_0^2} \Delta\lambda \rightarrow \Delta f \approx \frac{3 \cdot 10^8}{(1550 \cdot 10^{-9})^2} \cdot 1 \cdot 10^{-12} \approx 125 \cdot 10^6 \quad (1.9)$$

Obtenemos que **1pm** es equivalente a **125 MHZ** en tercera ventana.

1.4 Heterodinaje

El heterodinaje es un sistema muy utilizado en telecomunicaciones ya que permite mover una frecuencia portadora a otra zona del espectro. Si mezclamos una frecuencia con otra podemos aprovechar la diferencia entre ellas para obtener una frecuencia inferior o la suma para obtener una superior. Esto resulta interesante ya que podemos manipular la frecuencia de una portadora sin modificar las características de la señal moduladora.

En nuestro caso nos será muy útil para bajar frecuencias ópticas a frecuencias eléctricas, en las que analizar y seguir el comportamiento de una señal modulada en el analizador de espectros eléctrico (ESA-Electric Spectrum Analyzer), cosa que no se puede hacer en el analizador óptico (OSA-Optical Spectrum Analyzer) porque la resolución en frecuencia es mucho más pobre.

En el esquema de la figura 1.10 podemos observar el sistema. Con la ayuda de un acoplador, combinamos una frecuencia con otra modulada y su diferencia es visible en el ESA.

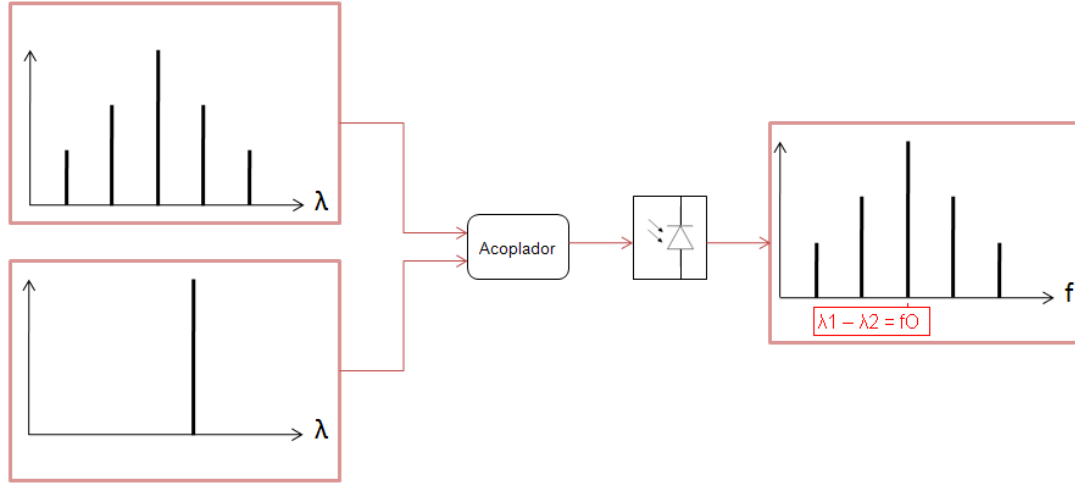


Fig. 1.10 Esquema del heterodinaje

A continuación explicaremos el heterodinaje matemáticamente para entender lo que sucede.

Si consideramos ϕ_1 como referencia:

$$E = \cos(\omega_1 t) + \cos(\omega_2 t + \phi_2) \quad (1.10)$$

Puesto que por cada fotón incidente se genera un electrón, en el fotodiodo receptor la corriente viene definida por la siguiente fórmula:

$$I_D = R \cdot |E^2| \quad (1.11)$$

Buscamos el campo al cuadrado:

$$E^2 = \cos^2(\omega_1 t) + \cos^2(\omega_2 t + \phi_2) + 2 \cos(\omega_1 t) \cdot \cos(\omega_2 t + \phi_2) \quad (1.12)$$

$$E^2 = \frac{1}{2} + \frac{\cos 2\omega_1 t}{2} + \frac{1}{2} + \frac{\cos 2(\omega_2 t + \phi_2)}{2} + 2 \frac{\cos(\omega_1 t + \omega_2 t + \phi_2) + \cos(\omega_1 t - \omega_2 t - \phi_2)}{2} \quad (1.13)$$

$$E^2 = 1 + \cos(\omega_1 t + \omega_2 t + \phi_2) + \cos(\omega_1 t - \omega_2 t - \phi_2) \quad (1.14)$$

La expresión anterior nos muestra cómo la corriente detectada contiene un término a la frecuencia diferencia. Si este término cae dentro de la banda de respuesta eléctrica del fotodiodo, obtendremos a su salida un término a esta frecuencia que podremos ver en un analizador de espectros eléctrico. El término suma de frecuencias estará por supuesto fuera de esta banda y no nos dará ninguna señal a la salida del fotodiodo.

CAPÍTULO 2. EL BANCO DE PRUEBAS

En este capítulo vamos a describir todas las herramientas de laboratorio utilizadas en nuestro banco de pruebas y sus características principales. Haremos hincapié en aquellas que necesiten un estudio específico para su correcta puesta en marcha. Los elementos más importantes son los diodos láser semiconductores tipo 14-PIN butterfly utilizados comúnmente en comunicaciones, el zócalo para su soporte y el controlador de temperatura y corriente para su control. El aspecto que tiene el banco es el que se puede ver en la siguiente figura.



Fig. 2.0 Aspecto del banco de pruebas

2.1 El diodo láser

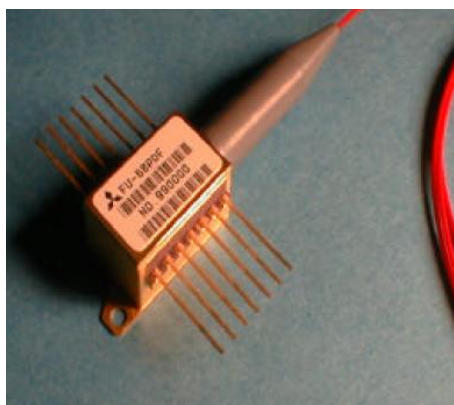


Fig. 2.1 Un diodo láser Mitsubishi

En el mercado podemos encontrar un gran abanico de diodos láser dedicados a las comunicaciones. Uno de los encapsulados más típicos y utilizados que podemos encontrar es el 14-PIN Butterfly.

Dentro de esta categoría existen de diferentes tipos, como hemos visto en el capítulo anterior. En nuestro trabajo hemos seleccionado los de tipo 2 ya que son láseres que proporcionan una portadora óptica concreta, ligeramente variable con la corriente y la temperatura que contienen un dispositivo interno para modular información y porque básicamente eran los que nos hemos encontrado disponibles para realizar las pruebas. En la siguiente figura 2.2 podemos observar la estructura de los 14-PIN Butterfly Tipo 2 con BIAS-T (modulador).

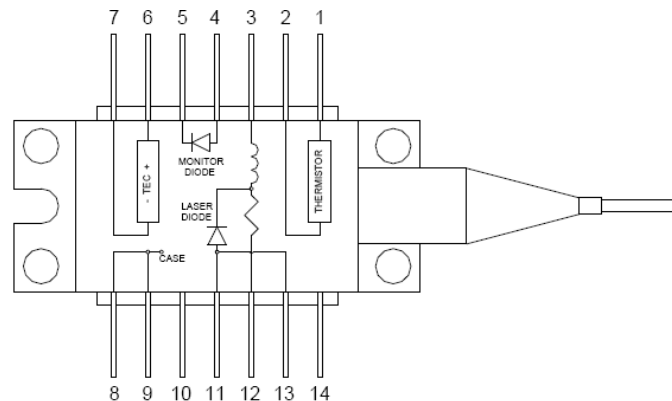


Fig. 2.2 Los LD butterfly Tipo 2 con *BIAS-T*

En nuestro laboratorio disponemos de dos láseres de Mitsubishi Electric de la serie FU68-PDF, el J905 y J923 que trabajan en la banda L de la tercera ventana (se pueden obtener longitudes de onda que van desde los 1565nm hasta los 1625nm), constan de fotodiodos para monitorizar la potencia óptica, integran un circuito de *bias* como hemos visto y vienen en encapsulado butterfly tipo 2.

Para su correcto funcionamiento, protección y longevidad el fabricante recomienda no sobrepasar los valores de ciertos parámetros, los cuales se pueden encontrar en el datasheet. Los más importantes son la temperatura (debe situarse entre los 20 °C y los 35°C), el umbral de corriente necesario (*threshold*) que se sitúa normalmente en los 10mW y la corriente máxima de operación que no debe exceder los 100 mW.

2.2 Los zócalos Thorlabs

Los diodos láseres pueden variar su longitud de onda en función de la temperatura y la corriente. Para ello utilizamos un controlador que permite variar estos parámetros y sobre todo mantenerlos en el valor. No obstante es imprescindible la presencia de un soporte para colocar el diodo láser y controlar cada uno de sus patas a través de unos puertos estándar. El zócalo es el elemento utilizado para ese fin. En nuestro laboratorio se dispone de dos zócalos diferentes, el LDH BFY-B y el LM14S2. Estos tienen la misma estructura interna ya que el segundo es sucesor del primero aunque también presentan ciertas utilidades diferentes.



Fig. 2.3 LDH BFY-B

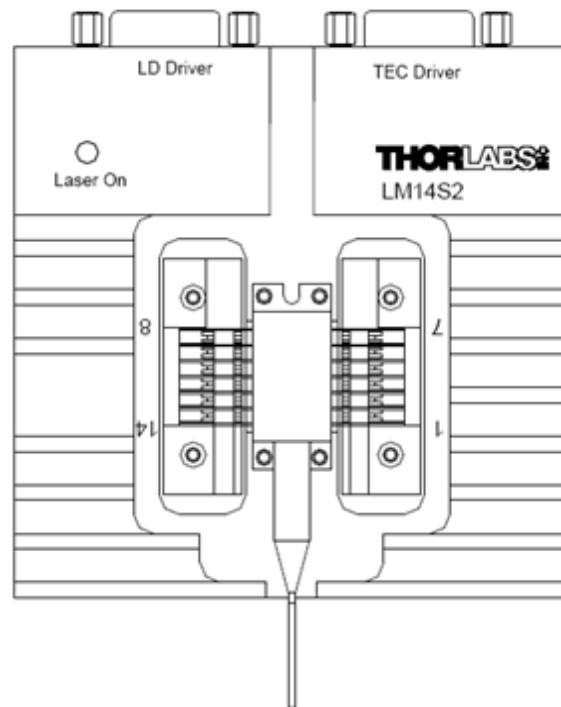


Fig. 2.4 LM14S2

En ambos casos la montura tiene el mismo aspecto. Tienen un socket donde va colocado el láser y dos puertos DB9 (etiquetados como TEC DRIVER y LD DRIVER en las figuras 2.3 y 2.4) para controlar respectivamente la temperatura y la corriente.

La diferencia principal entre ambos zócalos es la técnica que usan para posibilitar el uso del zócalo para láseres con diferente pineado. Mientras que en el LDH BFY-B se dispone de una estructura adicional formado por módulos de 28 pines de los 3 tipos (ver fig. 2.5) que hacen corresponder los 14 pines del butterfly con los respectivos pines de cada uno de los dos DB9, en el LM14S2 se dispone de un sistema de tarjetas de los 3 tipos con la misma estructura 14x14 (ver fig. 2.6) que se insertan interiormente abriendo el zócalo.



Fig. 2.5 Módulo de 28 pines Tipo-2 del LDH BFY-B

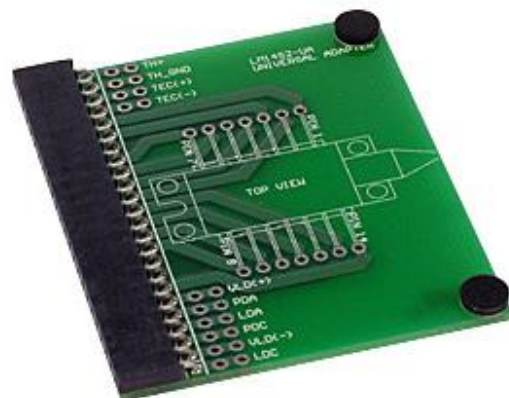


Fig. 2.6 Tarjeta Tipo-2 del LM14S2

La ventaja principal que tiene el nuevo modelo LM14S2 frente al antiguo, es que se puede modular el láser en el mismo zócalo. Colocando un pequeño circuito impreso *BIAS-T* sobre las patas 12 y 13 del láser podemos modular en RF. En la figura 2.7 podemos observar cómo se tiene que colocar el sistema.

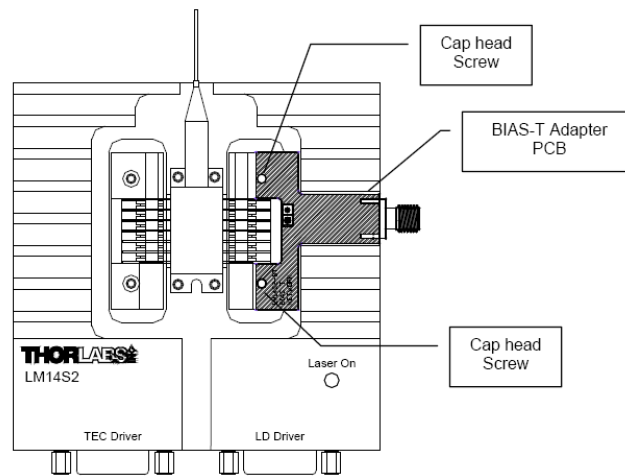


Fig. 2.7 Colocación de la tarjeta *BIAS-T* del LM14S2

Para colocar tanto el láser como el *BIAS-T* el usuario debe prestar atención ya que las patas del butterfly son muy delicadas. Tras abrir los cierres del socket ejerciendo una pequeña fuerza, colocar el láser cerciorándose que la numeración de los pines corresponde y presionar los cierres para fijarlo.

2.3 Los controladores de corriente y temperatura ILX

Los elementos más importantes en nuestro banco de pruebas son los controladores de temperatura y corriente. A través de estas dos variables se regula la longitud de onda emitida por el diodo láser y se proporciona la alimentación necesaria para su funcionamiento a la potencia deseada.

2.3.1 Controlador de temperatura y corriente ILX LDC 3724B

2.3.1.1 Descripción

El ILX LDC 3724B está diseñado para controlar ambas variables en un mismo sistema. El aspecto que tiene el dispositivo es el que se puede observar en la figura 2.8.



Fig. 2.8 LDC 3724B

La parte superior consta de dos displays que se encargan de proporcionar información sobre el estado del diodo láser.

El display de la izquierda es el que muestra los valores del TEC (Thermo Electric Cooler), es decir el controlador de temperatura. En él se puede seleccionar y leer la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), la resistencia ($\text{K}\Omega$) del termistor o la corriente del módulo TE (mA).

El display de la derecha es el que muestra los valores del LÁSER, es decir el controlador de corriente. En él se puede seleccionar leer la corriente del láser (mA), la corriente del fotodiodo (mA), la potencia del fotodiodo (mW) o el voltaje.

En la parte superior derecha se localiza la rueda que nos sirve para ajustar la temperatura o la corriente que queremos cambiar. Los botones situados inmediatamente debajo sirven para seleccionar previamente la variable que queremos regular. En la parte inferior se sitúan el resto de elementos.

Entre las características más destacadas están, los interruptores que activan la salida de la señal, la zona de cambio de parámetros para limitar y calibrar, así como un modulador externo de baja frecuencia para insertar información a nuestro diodo láser. A modo de manual explicaremos a continuación estos y otros detalles para el correcto funcionamiento del aparato.

2.3.1.2 Manejo básico

Girar la llave hacia la derecha en el panel frontal para encender el dispositivo. Este hace un rápido chequeo para comprobar que todos los elementos del sistema funcionan correctamente. El único led que se debería encender es el de OUTPUT SHORTED en el display del LÁSER. En caso contrario revisar el manual. A partir de aquí podemos proceder a seleccionar la corriente de alimentación y la temperatura a las cuales se desea que funcione el láser.

Para regular la corriente o la temperatura apretar el botón LAS o TEC respectivamente situados debajo de la rueda y variar los valores dentro de los márgenes tolerados por el diodo láser (ver fig. 2.9). El cambio se puede leer en el display correspondiente momentáneamente si configuramos adecuadamente el panel frontal como ahora veremos.

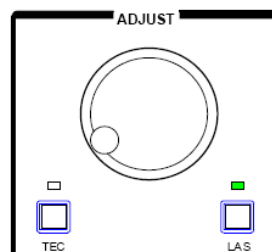


Fig. 2.9 Rueda de ajuste

Como hemos comentado en la descripción, podemos ver diferentes informaciones dentro de cada variable. Simplemente se tiene que presionar el botón deseado dentro de cada menú de display (ver fig. 2.10 y 2.11). En

nuestro caso nos interesa que estén presionadas la intensidad y la temperatura para obtener la lectura de los cambios realizados en las dos variables.

En el display se observa la lectura del TEC o del LÁSER captada por los sensores en tiempo real. Es posible que se vean ciertas fluctuaciones. En todo momento podemos apretar el botón SET para ver el ajuste de la variable, establecido previamente.

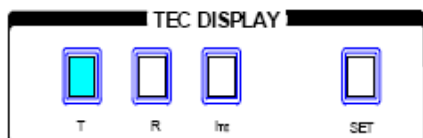


Fig. 2.10 Botones del display del TEC



Fig. 2.11 Botones del display del LASER

Finalmente para proporcionar salida presionamos el interruptor OUTPUT situado en el menú inferior de cada variable (ver fig. 2.12 y 2.13).

En este momento el láser está en funcionamiento y podemos comprobar en el OSA los niveles de potencia y la longitud de onda obtenidos en el espectro de la señal óptica. En caso de fallo revisar el manual del aparato [ver ref.4].

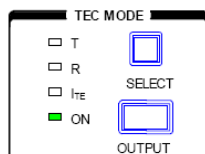


Fig. 2.12 Botón de salida de señal del TEC

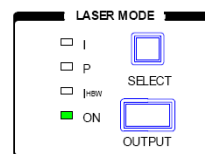


Fig. 2.13 Botón de salida de corriente del LASER

2.3.1.3 Calibración y ajustes de protección

A la hora de realizar medidas es muy importante dotar al aparato de unos mínimos ajustes de protección para no estropear el diodo láser. También es necesario calibrar el dispositivo para optimizar la respuesta del controlador. En un primer momento estudiaremos cómo calcular las constantes para calibrar el aparato. En un segundo lugar detallaremos como introducir esas constantes en el controlador y cómo limitar el aparato para no perjudicar el diodo láser.

La resistencia eléctrica variable en función de la temperatura (thermistor) no tiene siempre la misma impedancia típica, varía según el dispositivo láser. Para optimizar la respuesta del controlador es necesario calcular las constantes de Steinhart-Hart y calibrar con ellas el aparato. La ecuación Steinhart-Hart caracteriza la resistencia de un semiconductor a diferentes temperaturas. Esta relación permite estimar con precisión la temperatura a través de la resistencia no lineal NTC (Negative Temperature Coefficient) del thermistor.

Fórmula de Steinhart-Hart:

$$\frac{1}{T} = C_1 + C_2 \cdot \ln(R) + C_3 \cdot [\ln(R)]^3 \quad (2.1)$$

También existe la ecuación del parámetro B que se extrae de la fórmula genérica de Steinhart-Hart. En ella se desprecia C_3 ya que no es muy importante. El parámetro B suele ser el dato que proporciona el fabricante en los datasheet:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln\left(\frac{R}{R_0}\right) + 0 \quad (2.2)$$

$$\frac{1}{T} = \left[\frac{1}{T_0} - \frac{1}{B} \ln(R_0) \right] + \frac{1}{B} \ln(R) = C_1 + C_2 \cdot \ln(R) \quad (2.3)$$

Según el datasheet los valores de T_0 , R_0 y B son los siguientes:

Diodo láser	T_0	R_0	B
J905	26,2	9,6	3950
J923	27,2	9,2	3950

Tabla 2.1 Valores para el cálculo

Por lo que los valores de las constantes serán los siguientes:

Diodo láser	C1	C2	C3
J905	$1,021 \cdot 10^{-3}$	$2,531 \cdot 10^{-4}$	0
J923	$1,021 \cdot 10^{-3}$	$2,531 \cdot 10^{-4}$	0

Tabla 2.2 Resultados obtenidos

Para ajustar el aparato hemos de centrarnos en el menú PARAMETER. El aspecto que tiene es el que podemos ver en la figura 2.14. En él se puede observar una parte dedicada al TEC (izquierda) y otra al LÁSER (derecha).

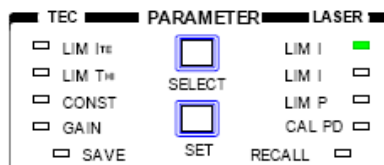


Fig. 2.14 Menú de limitación y calibración

Si deseamos introducir las constantes calculadas anteriormente, debemos situarnos en el modo TEC, activando su interruptor correspondiente situado debajo de la rueda de ajustes. Si presionamos el botón SELECT repetidamente en el menú PARAMETER, veremos que los leds de LIM I_{TE}, LIM T_{HI}, CONST y GAIN se encienden el uno detrás del otro realizando un bucle, a la vez que en el display aparecen los valores de configuración predeterminados. El led

CONST se mantiene encendido para tres presiones de SELECT ya que esto corresponde a las tres constantes de Steinhart-Hart (C1, C2 y C3). Una vez situados en la constante que queremos variar, mantenemos apretado SET rápidamente y giramos la rueda de ajuste hasta obtener el valor deseado en el display.

Para limitar tanto la corriente como la temperatura hemos de seguir un procedimiento similar. Si queremos limitar la corriente activamos el modo LAS debajo de la rueda de ajustes y presionamos SELECT en el menú PARAMETER hasta situarnos sobre LIM I. Si rápidamente mantenemos apretado SET y giramos la rueda podremos variar el límite de corriente.

Nuestro láser no debería alimentarse a más de 100mA. Para limitar la temperatura seguimos el mismo procedimiento pero situándonos en modo TEC, como para introducir las constantes, pero variando LIM T HI. En principio nuestro láser no debería calentarse a más de 35°C. Paralelamente es conveniente regular el GAIN a valores bajos, utilizando el mismo procedimiento, para reducir las fluctuaciones de la temperatura y tener valores de λ fijos.

2.3.2 Controlador de temperatura ILX LDT 5412



Fig. 2.15 LDT 5412

Siguiendo la misma filosofía que el controlador explicado anteriormente, el ILX LDT 5412 hace variar el termistor (resistencia térmica) en función de la temperatura con la que se estimula el láser. Por ello en el display, a diferencia del controlador ILX 3724B que informa sobre la temperatura, se marca la resistencia en KΩ. A mayor temperatura menor resistencia, es decir longitud de onda mayor.

Este aparato consta de un DISPLAY MODE en el que se puede seleccionar SET R, ACTUAL R o bien TE CURRENT. Para variar la resistencia nos posicionamos sobre SET R y variamos la rueda hasta obtener el valor deseado. Para conocer la lectura del thermistor en tiempo real nos posicionamos sobre ACTUAL R.

Si queremos conocer a que temperatura equivale la lectura hemos de saber el valor típico de resistencia del termistor que tiene nuestro láser (en nuestro caso 10 KΩ). Mirando en el manual las curvas R-T para thermistores con coeficientes de temperatura negativos la averiguaremos (ver fig. 2.16).

Tras ajustar los parámetros presionamos sobre el interruptor OUTPUT. El led se enciende y se proporciona señal de salida. En caso de error consultar el manual [ver ref.5].

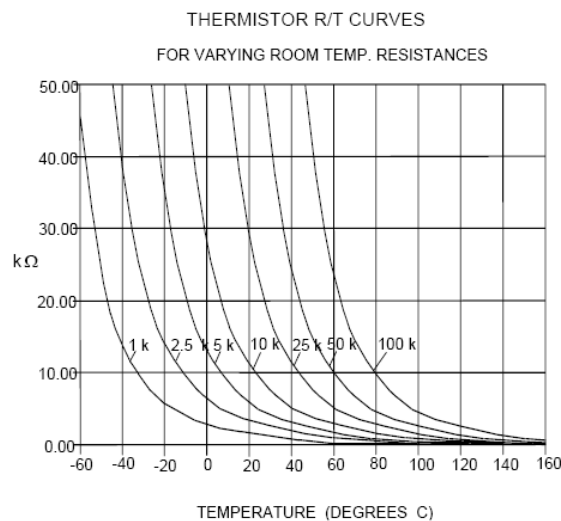


Fig. 2.16 Curvas R-T para diferentes resistencias eléctricas típicas de termistores

2.3.3 Controlador de corriente ILX LDX 3620



Fig. 2.17 LDX 3620

El LDX 3620 únicamente nos sirve de fuente de alimentación para proporcionar y controlar la corriente de nuestro láser. Para encenderlo giramos la llave hacia la derecha tras colocar el cableado correctamente. Variamos la rueda OUTPUT ADJUST hasta obtener el valor de corriente deseado y presionamos el interruptor OUTPUT para proporcionar señal de salida. En caso de error consultar el manual [ver ref. 6].

2.4 El detector opto-eléctrico

Este dispositivo tiene la función de transformar la potencia óptica que le llega en corriente eléctrica. Nos permite eliminar la onda portadora de la señal que proviene del diodo láser y quedarnos con la onda moduladora. De esta manera podremos visualizar en el ESA o el osciloscopio la señal recibida. Sus características principales se resumen en la tabla 2.3.

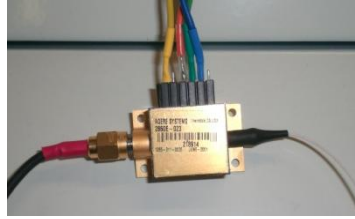


Fig. 2.18 Detector Agere Systems

Detector óptico Agere Systems 2860E	
BW óptico	1280 - 1580 nm
BW eléctrico	30 KHz-9 GHz
Alimentación	8 V

Tabla 2.3 Características principales del detector

2.5 El acoplador

Este dispositivo es el encargado de sumar las dos portadoras ópticas en el montaje de heterodinaje. Posee dos puertos de entrada y dos de salida. Sus características principales se resumen en la tabla 2.4.

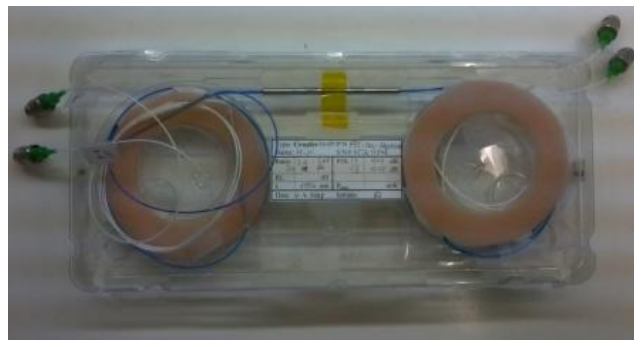


Fig. 2.19 Acoplador

Acoplador	
Tipo	50/50
λ	1550nm

Tabla 2.4 Características principales del acoplador

2.6 El analizador de espectro óptico

El OSA ANRITSU MS9710C sirve en nuestro proyecto para ver la portadora óptica emitida por los diodos láser. Los botones más importantes son la resolución (RES), el auto-escalado (AUTOMEASURE) y el buscador de picos (PEAK SEARCH), los cuales corresponden en la figura 2.20 a los recuadros amarillo, rojo y naranja respectivamente. La resolución máxima del filtro es de 50 pm, es decir 6,25GHz eléctricos, y podemos explorar un margen de longitud de ondas que van de los 0,6 μ m a los 1,75 μ m.



Fig. 2.20 OSA

2.7 El analizador de espectro eléctrico

El ESA ANRITSU MS2661B sirve en nuestro proyecto para ver la modulación en RF y el resultado del heterodinaje de las dos portadoras ópticas, a la salida del detector. La resolución del filtro va de 1KHz a 5MHz y podemos analizar frecuencias que van de los 9KHz a los 3GHz, es decir 24pm ópticos.

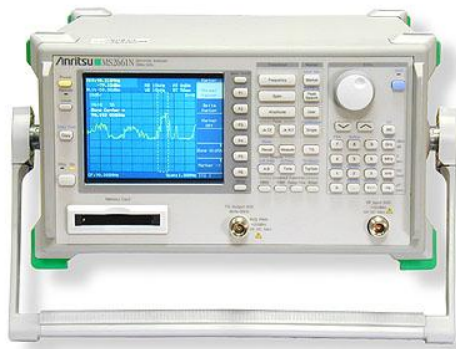


Fig. 2.21 ESA

2.8 Fuente de alimentación

La fuente de alimentación PROMAX FAC-662B sirve para alimentar el detector electro-óptico. Se ha de limitar a unos pocos miliamperios cortocircuitando sus bornes y ha de proporcionar 8V. Los cables se colocan tal y como se puede ver en la figura 2.22.



Fig. 2.22 Disposición de los cables del detector en la fuente PROMAX

2.9 Generador de funciones

El generador de funciones AGILENT 33250A sirve en nuestro proyecto para generar una forma de onda cosenoidal que utilizamos para modular en RF. Tiene capacidad para proporcionar una frecuencia de hasta 80MHz.



Fig. 2.23 El generador de funciones Agilent

2.10 Osciloscopio

Para visualizar el coseno generado y verificar que la señal introducida en RF es la correcta, podemos utilizar el osciloscopio Tektronix TDS 794D con un ancho de banda de 2GHz.



Fig. 2.24 El osciloscopio Tektronix

2.11 Multímetro óptico programable

A la hora de caracterizar vía software el diodo láser utilizamos el multímetro HP 8153 [ver ref. 7]. Con él monitorizamos la potencia para diferentes barridos de temperatura y corriente. Tiene puerto GPIB a través del cual se puede conectar el ordenador. En combinación con el controlador y usando un programa en Matlab hemos realizado funciones de transferencia de forma automática.



Fig. 2.25 El multímetro programable HP

2.12 El cableado utilizado

El LDX 3620 y el LDT 5412 no venían provistos de cables, por lo que tuvimos que hacerlos siguiendo el pineado de los cables que ya teníamos del controlador LDT 3724B como explicaremos en el siguiente capítulo.

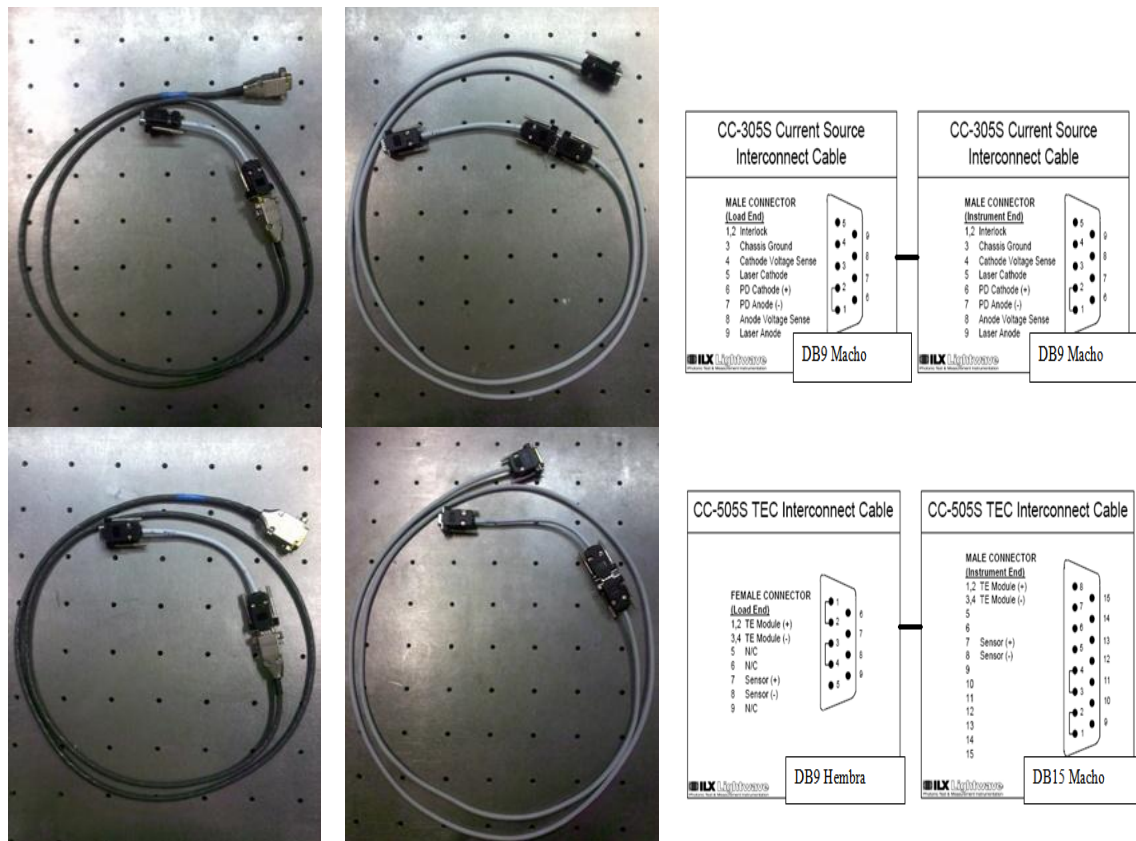


Fig. 2.26 Cables CC-305-S y CC-505-S junto con cable Interfaz (original –izquierda- y clon -derecha-)

2.13 Conectores ópticos

Constituyen uno de los elementos más importantes dentro de la gama de dispositivos pasivos necesarios para establecer un enlace óptico. Su misión es la de permitir el alineamiento y unión temporal y repetitivo, de dos o más fibras ópticas entre sí y en las mejores condiciones ópticas posibles.

Existen varios tipos de conectores, en nuestro caso utilizamos del tipo FC (fig.2.27). En ellos la conexión se realiza mediante una rosca, haciendo encajar la lengüeta del conector macho en el conector hembra. Esta implementación resulta fácil para el usuario y además aporta robustez en las pruebas de laboratorio.



Fig. 2.27 Conector FC

El acabado de las ferrules de los conectores ópticos se realiza aplicando diversas tecnologías denominadas habitualmente como *pulidos*:

- **Conectores con pulido APC:** este tipo de conectores disponen de un pulido angular convexo de 8° . Se suelen identificar por su color verde.
- **Conectores con pulido UPC:** este tipo de conectores están pulidos horizontalmente. Se suelen identificar por su color negro.

Es importante destacar que para poder realizar una conexión entre conectores con pulido APC y UPC debemos introducir una fibra intermedia.

2.14 Kit de limpieza

Para un correcto funcionamiento del sistema es importante mantener limpios los conectores de las fibras. Para ello utilizamos un kit de limpieza específico compuesto de un microscopio (Westover Scientific FM-C400), Alcohol Isopropílico y un paño estéril.

Para realizar el proceso de limpieza se introduce la fibra en el microscopio y mediante una luz LED se observa su núcleo. De esta manera, podemos detectar las motas de polvo que puedan afectarnos a la medida y eliminarlas utilizando el paño húmedo empapado ligeramente de alcohol isopropílico.



Fig. 2.28 Kit de limpieza

CAPÍTULO 3. INTERFAZ ZÓCALO-CONTROLADOR

El primer problema con el que nos encontramos al iniciar el proyecto, fue la incompatibilidad entre los zócalos de los diodos láser y los controladores de temperatura y corriente. En el laboratorio nos topamos con el gran inconveniente de que los zócalos Thorlabs no funcionaban con los controladores ILX Lightwave ya que cada compañía sigue un estándar propio. Se consideraba que la versatilidad de ambos era total pero no fue el caso por lo que tuvimos que estudiar el tema detenidamente en busca de soluciones.

La primera parte del TFC, que veremos a continuación, consistió en estudiar ambos dispositivos y realizar un cable para que sus respectivas funciones concordaran. En un primer momento estudiamos los manuales para conocer la estructura y funciones tanto del zócalo como del controlador. Una vez conocidas las funciones de cada elemento de los dispositivos, analizamos prácticamente el zócalo en búsqueda de respuestas y arreglamos el circuito impreso. Nos encontramos con un dispositivo de protección que nos puso las cosas difíciles (INTERLOCK) pero finalmente elaboramos un cable con el que pudimos poner en marcha la caracterización de los diodos láser.

Este estudio se centrará en el LDH BFY-B, el zócalo más antiguo, ya que el LM14S2 es su sucesor y sigue la misma estructura. El interfaz que explicaremos vale para ambos bien que como hemos visto en el capítulo anterior tienen sus pequeñas diferencias.

3.1 Estudio de zócalos y controlador

3.1.1 El zócalo

El *Laser Diode Mount* LDH BFY-B, con el que realizamos el siguiente análisis, era de rehúso (segunda mano) y no teníamos el manual. Por si fuera poco el dispositivo fue manipulado con anterioridad debido al intento frustrado de ponerlo en marcha. Todo ello supuso un serio problema ya que no disponíamos de ningún tipo de documentación sobre su funcionamiento interno.

La búsqueda del manual fue complicada debido a su relativa antigüedad. No conseguíamos localizar la compañía dueña del aparato. Simplemente teníamos la referencia LDH BFY-B situada en una etiqueta de la parte inferior, de la que no sabíamos ni si era el nombre. Con perseverancia y una dosis de mucha suerte obtuvimos una antigua dirección de mail por internet a la que escribimos con escepticismo. Finalmente obtuvimos una respuesta y descubrimos que la empresa PROFILE GmbH ya no existía y que había sido absorbida por Thorlabs. Desde su sucursal europea en Múnich, un técnico me facilitó el manual y me ofreció su ayuda en caso de cualquier duda.



Fig. 3.1 Zócalo PROFILE LDH BFY-B

La montura dispone de dos DB9, uno macho y otro hembra, así como una ranura para colocar un módulo 28 PIN DIL (ver fig. 3.1). A continuación vamos a detallar ambas características.

3.1.1.1 Los puertos de control

Como hemos comentado el zócalo viene provisto de dos puertos de entrada, para controlar por un lado la temperatura y por el otro la corriente del láser. El pinedado de ambos es el que se puede ver en la figura 3.2.

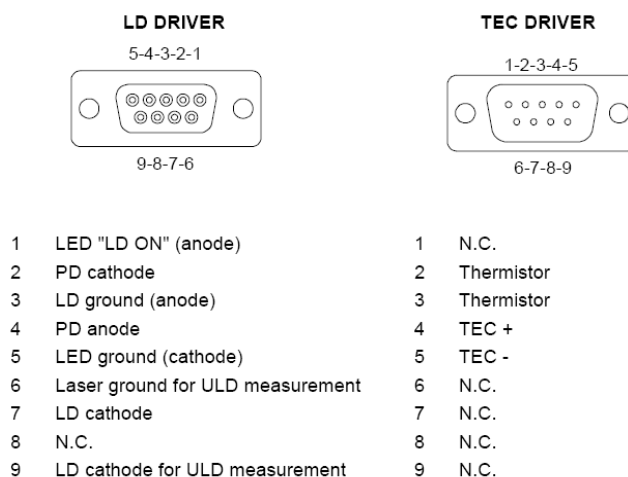


Fig. 3.2 DB9s del zócalo

El LD DRIVER sirve para controlar la corriente del diodo y el TEC DRIVER para controlar la temperatura.

El primer DB9 viene provisto de dos pines para la alimentación del ánodo y cátodo del láser (LD anode & cathode), dos para su lectura en tiempo real (ULD), dos pines que van a los fotodiodos (PD), así como los pines uno y cinco que se utilizan para la función INTERLOCK que luego describiremos.

El segundo DB9 viene provisto de cuatro pines activos, de los cuales dos sirven como *Thermo Electric Cooler* (regulan la temperatura según el efecto Peltier) y otros dos para el termistor (resistencia variable en función de la temperatura). Todos ellos deberán conectarse a cada uno de los pines correspondientes en el controlador, como veremos más adelante.

Los LD 14-PIN BUTTERFLY tienen diferentes tipos de pineado, como hemos visto en el capítulo anterior, en función de la marca. Por ello diferentes módulos (uno Tipo 1, uno Tipo 2 y otro programable) entraban dentro del pack del zócalo. En nuestro caso solo se localizó uno de los tres y tuvimos que hacer un estudio del mismo para saber si realmente era el que necesitábamos, el Tipo 2.

3.1.1.2 Estudio práctico del módulo 28-PIN DIL



Fig. 3.3 Módulo de 28 patas

El aspecto que tienen estos módulos es el que se puede apreciar en la figura 3.3. La parte izquierda corresponde a los pines que van del 1 al 14. Los del lado derecho del 15 al 28. La gracia de este módulo es puentear un lado con otro con el fin de dar la posibilidad de insertar en el zócalo diodos láser de diferente pineado. Como hemos comentado, al faltarnos hardware y tener solo un módulo ya programado de fábrica, tuvimos que comprobar si nos valía para nuestro LD de tipo 2. Así de paso conocíamos más detalles sobre el circuito impreso.

Utilizando un Tester seguimos las pistas del circuito impreso buscando continuidades. Así averiguamos a que correspondía cada pin del lado izquierdo para poder relacionarlo con el del derecho. Los primeros van directamente conectados a las 14 patas del láser. Los segundos van a parar a las patas de los DB9 pero no directamente, hay resistencias de protección, dos diodos, así como una estructura de protección que nos costó mucho descifrar, la estructura INTERLOCK, que posteriormente explicaremos.

Tuvimos suerte y el único módulo del que disponíamos era el del tipo 2, es decir el que correspondía con nuestro láser. A continuación podemos ver un esquema del módulo.

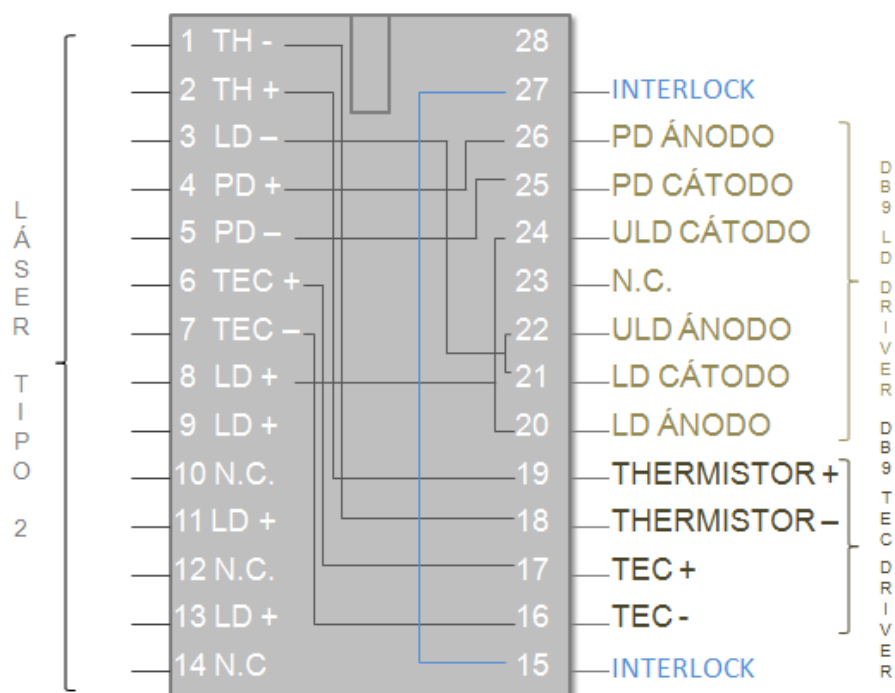


Fig. 3.4 Esquema de correspondencia de pines del módulo Tipo 2

3.1.2 El controlador

En el panel trasero del aparato podemos encontrar entre otros puertos, un DB9 y un DB15, ambos machos, que corresponden con el LD DRIVER y el TEC DRIVER respectivamente. En las siguientes figuras 3.5 y 3.6 podemos ver el pineado correspondiente a uno y otro.

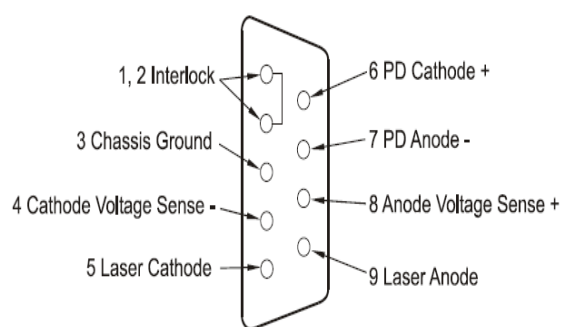


Fig. 3.5 DB9 de corriente

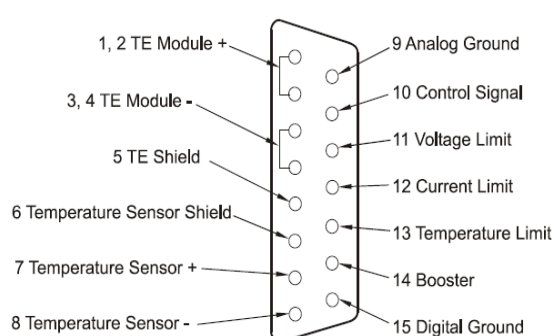


Fig. 3.6 DB15 de temperatura

En el DB15 podemos encontrar los pines uno y dos, así como tres y cuatro puenteados internamente para permitir un flujo alto de corriente hacia el módulo TEC. Los pines siete y ocho están diseñados para conectarse al sensor de temperatura (termistor) del módulo láser que se inserta en el zócalo. El DB15 tiene más pines pero no los conectaremos ya que se utilizan para una característica especial, el TE BOOSTER.

3.1.3 Reparación del circuito impreso

El LDH BFY-B había sido manipulado con anterioridad. Seguramente alguna persona quiso utilizar la montura como nosotros la hemos utilizado, es decir utilizando hardware de compañías diferentes, que como ahora sabemos son incompatibles. Se le des-soldaron componentes y así fue como nos lo encontramos.

Nosotros estudiamos el circuito y resoldamos los componentes como pensamos que sería correcto siguiendo una lógica no escrita y aprovechando las marcas del diseño inicial en la placa. Este paso no fue complicado, pero hubo suerte de que no se llegara a manipular en exceso, llegando a inhabilitar el zócalo. En la figura 3.7 podemos ver el estado correcto del circuito impreso.

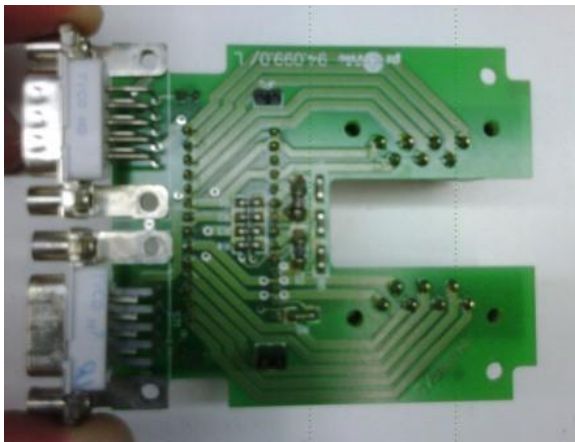


Fig. 3.7 Parte inferior del c. impreso

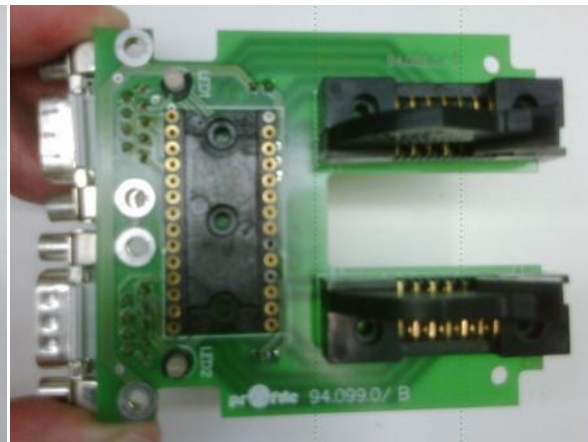


Fig. 3.8 Parte superior del c. impreso

3.1.4 Realización del cable interfaz

La elaboración de un primer cable de prueba fue costosa. Por un lado la característica interlock nos trajo de cabeza. No sabíamos como conectar los pines uno y dos correspondientes al conector del lado controlador con los pines uno y cinco del lado zócalo (explicado en el siguiente punto). Por otro lado la nomenclatura de ILX y Thorlabs no era la misma, por lo que enfrentar pines no era tan evidente. Por estas razones y por el hecho de trabajar con muchos cables en un espacio reducido, la tarea no fue tan sencilla.

Una vez controlados todos los aspectos tanto del zócalo como del controlador, interlock incluido, procedimos a pedir al servicio técnico la realización del cable definitivo. A continuación en las figuras 3.9, 3.10 y 3.11 podemos ver un esquema de las conexiones internas del cable y la foto de los dos cables.

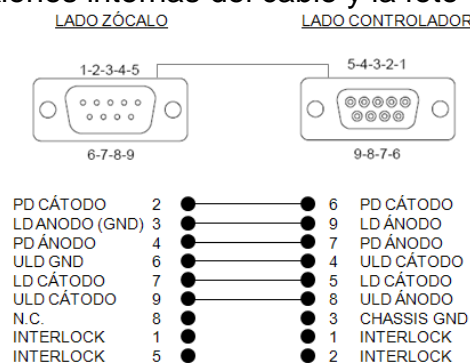


Fig. 3.9 Cable de corriente

La pata tres del DB9 del controlador la conectamos al agujero del tornillo del DB9 del zócalo para tener un punto de masa. Finalmente los pines del interlock no se conectan, de ello hablaremos en el siguiente punto.

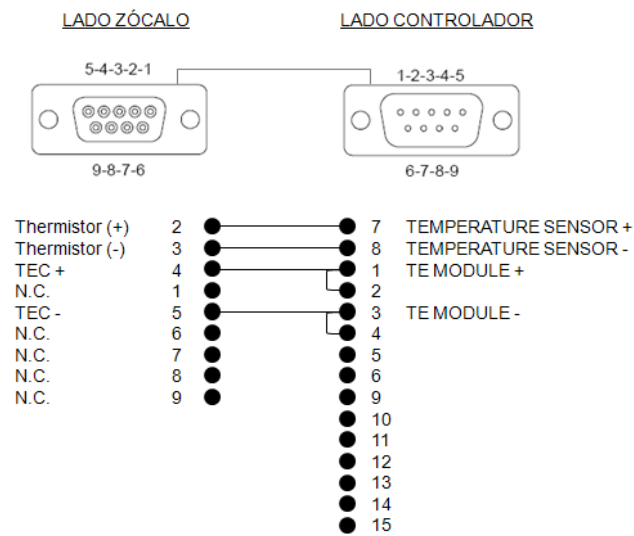


Fig. 3.10 Cable de temperatura



Fig. 3.11 Resultado final de ambos cables

3.2 Función INTERLOCK

Una de las cosas que más nos costó, a la hora de averiguar cómo funcionaba el zócalo y el controlador para hacer el cable, fue la característica interlock. Tanto en el manual de Thorlabs como en el manual de ILX aparecía mencionada pero no sabíamos cómo interpretarla. En nuestro afán de hacer compatibles ambos dispositivos seguimos tres líneas de trabajo. En un primer momento analizamos el circuito impreso del zócalo, para ver las pistas por las que funcionaba la característica interlock. En un segundo lugar analizamos el controlador y los cables de conexión de las dos partes. Finalmente mantuvimos conversaciones, en inglés y vía mail, con los técnicos de ambas compañías para que nos ayudaran a resolver el enigma.

3.2.1 Análisis del circuito impreso del LDH BFY-B

Según el manual de la montura, en el DB9 del LD DRIVER (el conector de corriente) los pines relacionados con el interlock, eran el uno y el cinco. Siguiendo estas dos pistas en el circuito impreso, vimos que estos podían estar conectados internamente. Dedujimos que si el módulo que se instala en la ranura del zócalo está conectado, el circuito se cierra, a través del INTERLOCK LINE (ver fig. 3.12) y el LED se enciende. El diodo láser recibe potencia y funciona. En caso contrario el circuito queda abierto y no pasa la corriente. A continuación podemos ver el esquema de lo explicado.

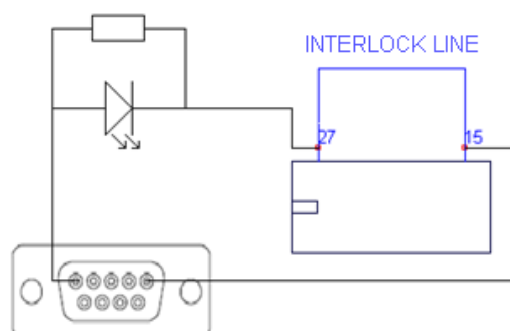


Fig. 3.12 Esquema del camino Interlock

3.2.2 El análisis del controlador y cables de ambas compañías

El siguiente paso era estudiar el ILX. En este caso los pines relacionados con el interlock eran el uno y el dos.

Leyendo exhaustivamente el manual, acabamos deduciendo que el controlador tiene un sistema que capta si los pines están cortocircuitados. Si lo están observamos un display que marca “OUTPUT SHORTED” y se emite potencia. En caso contrario un display con las palabras “OPEN CIRCUIT” en el panel delantero del controlador se ilumina y nos indica que el corto no está realizado. No se proporciona corriente al láser.



Fig. 3.13 Display del controlador

Llegados a este punto nuestro interés se centró en descubrir cómo se hacía este corto en ILX para que el controlador nos diera corriente. Analizamos el cable de conexión CC-305S y un zócalo que encontramos en el laboratorio (que no podíamos utilizar para nuestro proyecto) de la misma marca ILX. Descubrimos que el corto entre pines uno y dos se hacía en el mismo cable. En el DB9 del zócalo ILX estos no estaban conectados a ningún lado. En cambio en los cables Thorlabs únicamente hacen corresponder los pines ya que el corto se hace dentro de la montura.

3.2.3 Pruebas y conclusiones

Realizamos un cable de prueba para ver si el controlador ILX captaba el cortocircuito hecho a través del INTERLOCK LINE del zócalo Thorlabs (explicado en el punto 3.2.1 de este mismo capítulo). En principio si este cable conectaba directamente las patas uno y dos con uno y cinco, el circuito se cerraba. El problema fue que a diferencia de los controladores de Thorlabs en los pines uno y cinco, los de ILX no proporcionan alimentación entre uno y dos. El corto circuito se hizo (en el controlador) pero los LEDs (en el zócalo) no se encendieron y pensamos que no funcionaba. Finalmente con motivación y la ayuda de los técnicos, llegamos a la conclusión de que sin conectar los pines del interlock y utilizando el cable ILX que se cortocircuita internamente, el sistema funcionaría. Los LEDs no se encendieron pero el sistema funcionaba. Hicimos el cable definitivo.

En resumen:

En ILX el cortocircuito está en el cable CC-305S entre el controlador y el zócalo (pin 1 y 2). El controlador ILX no proporciona alimentación por lo que el LED no se puede encender en el zócalo Thorlabs. Únicamente si hay cortocircuito proporciona potencia al diodo láser a través del resto de pines.

En Thorlabs el cortocircuito se hace en el mismo zócalo (entre pin 1 y 5), puenteando las patas 15 y 27 del módulo programable. El controlador Thorlabs entre pata 1 y 5 proporciona una corriente constante de 10mA, si el cortocircuito (INTERLOCK) está hecho en el módulo. Los LEDs se encienden y el controlador proporciona potencia.

La solución es dejar el cable ILX CC-305S, hacer un conector adicional que conecte el cable ILX al zócalo y que empalme el resto de pines sin tener en cuenta el interlock. El corto está hecho en el cable ILX y el controlador (ILX) activa su salida. El LED (Thorlabs) nunca se encenderá ya que no tiene alimentación bien que el láser funcione.

El sistema INTERLOCK es una medida de protección que suelen utilizar para proteger el diodo láser y para desactivar la salida en caso que se desee.

3.3 Comprobación de funcionamiento de zócalos

Es importante destacar que los cables interfaz entre el controlador y el zócalo que se han construido tienen polaridad. La manera correcta de conectarlos es la siguiente.

En primer lugar realizar la conexión de compatibilidad:

Conectar el cable CC-305S (DB9 parte macho) con el cable interfaz más corto LD (DB9 parte hembra) y conectar el cable CC-505S (DB9 parte hembra) con el cable interfaz más largo TEC (DB9 parte macho).

Conectar los extremos libres de los cables CC a los controladores correspondientes para cada tipo de cable.

Conectar el extremo libre del cable interfaz LD al puerto del zócalo con el nombre LD driver y el extremo libre del cable interfaz TEC al puerto del zócalo con el nombre TEC driver tal y como se puede ver en la figura 3.14 para los dos zócalos.



Fig. 3.14 Colocación de los cables

En segundo lugar insertar el diodo láser en el socket del zócalo. Para ello presionar levemente hacia arriba los cierres para abrirlos, colocar el láser con la fibra hacia el exterior y con los pines insertados dentro de las 14 ranuras existentes en el socket.



Fig. 3.15 Colocación de los láseres

Finalmente insertar el conector FC macho de la fibra del láser en el OSA cerciorándose de que la muesca esté bien colocada en la ranura del conector hembra del analizador óptico y encender los controladores. Cerciorarse de que se superan los aproximados 10 mA de corriente de *threshold* y los 20 °C de temperatura mínima recomendada por el fabricante. No superar los 35°C.

Para comprobar el correcto funcionamiento de los láseres, el fabricante muestra en el datasheet la λ que debemos obtener con una temperatura y una corriente en concreto. En la tabla 3.1 podemos ver estos valores.

Diodo láser	J905	J923
Corriente (mA)	56,3	58,2
Temperatura (°C)	26,2	27,2
λ (nm)	1602,31	1603,17

Tabla 3.1 Datos del datasheet

Para el J905 obtenemos una λ de 1602.22 nm y para el J923 una λ de 1603.1 nm con una resolución de 0,05nm. La potencia de la portadora óptica ronda los 8 dBm. Los resultados obtenidos son los esperados y se pueden ver en las siguientes figuras 3.16 y 3.17.



Fig. 3.16 Portadora óptica del J923



Fig. 3.17 Portadora óptica del J905

El esquema para comprobar el correcto funcionamiento y caracterización manual del sistema se puede ver en la siguiente figura.

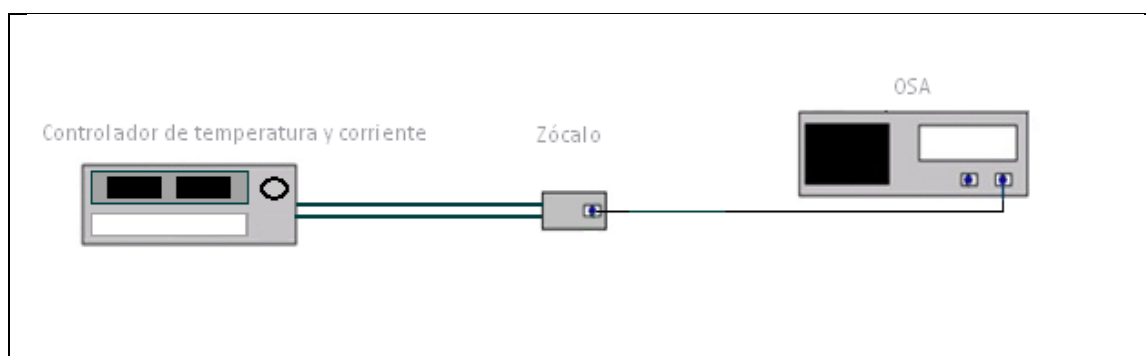


Fig. 3.18 Esquema del sistema

3.4 Una solución barata

El hecho de haber optado por arreglar el zócalo y no comprar material nuevo ha sido interesante. Actualmente existen una gran variedad de zócalos en el mercado. Si hubiésemos querido comprar las monturas ILX compatibles con nuestros controladores, nuestro banco de pruebas hubiese resultado bastante más caro. Si hacemos una comparativa de los precios del LM14S2 de Thorlabs y del LDM-4980 de ILX vemos que la jugada nos ha salido redonda. El primero

tiene un precio de 321,30\$ más portes y el segundo es de 510\$ más portes. Aprovechando y arreglando el material no utilizado nos hemos ahorrado 1020\$ más portes, ya que hubiesen hecho falta dos para nuestro banco. Por ello podemos concluir que inventar cables que hacen compatibles ambos sistemas es una solución barata.



Fig. 3.19 LDM 4984 de ILX



Fig. 3.20 LM14S2 Thorlabs

CAPÍTULO 4. CARACTERIZACIÓN DE LOS DIODOS LÁSER

El estudio fundamental para una buena puesta en marcha de un experimento con diodos láser es el de la caracterización de los mismos. En función de sus resultados podemos concretar los objetivos y limitaciones del trabajo con láseres. La curva característica típica de un diodo láser es la que representa la potencia en función de la corriente.

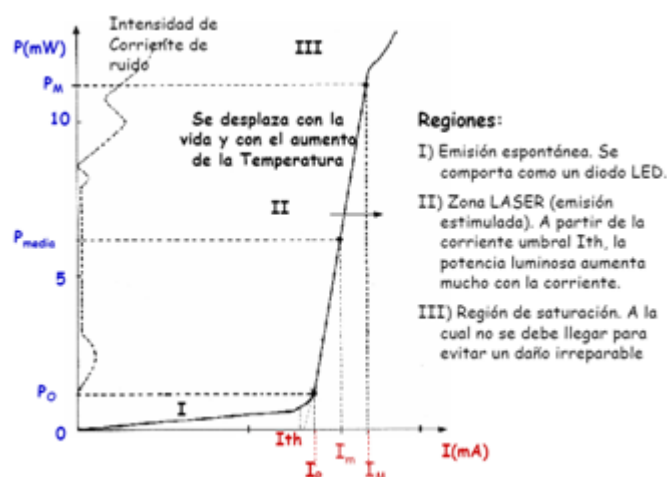


Fig. 4.1 Curva P/I

En un primer momento explicaremos la caracterización manual, obteniendo las gráficas de potencia óptica en función de la corriente y la de longitud de onda en función de la temperatura. Como el procedimiento manual resulta repetitivo y largo, realizaremos un programa en Matlab para automatizar la caracterización y obtener de forma sencilla y rápida la gráfica de potencia óptica en función de la corriente.

4.1 Caracterización manual

El procedimiento para caracterizar manualmente el diodo láser es el siguiente. Instalamos el diodo láser a analizar en el socket con sumo cuidado y cerramos las pestañas. Conectamos su fibra al OSA y el zócalo a los controladores de corriente y temperatura. Hacemos las medidas manualmente.

Como podemos jugar con dos variables (corriente y temperatura), hemos decidido mantener fija una variable y hacer un barrido con la otra (variando la primera en varias ocasiones) y al revés. El rango permitido en principio según el Datasheet es de 0 a 100mA y de 20 a 35 °C. En realidad el láser permite más pero son márgenes de seguridad que el fabricante marca.

Para ver la curva P/I del LD hemos dejado fija la temperatura y variado la corriente. Como la λ cambia en función de la temperatura (mucho más que con la corriente), hemos hecho un barrido de temperatura (de 15°C a 40°C) para 4 niveles de corriente fija (25mA, 50mA, 75mA y 100mA). De esta manera podemos conocer el rango de portadoras ópticas que permite el láser.

Las tablas detalladas de las medidas para los dos diodos así como las gráficas del J923, se pueden encontrar en los anexos. Las gráficas obtenidas P/I del láser J905 son las siguientes:

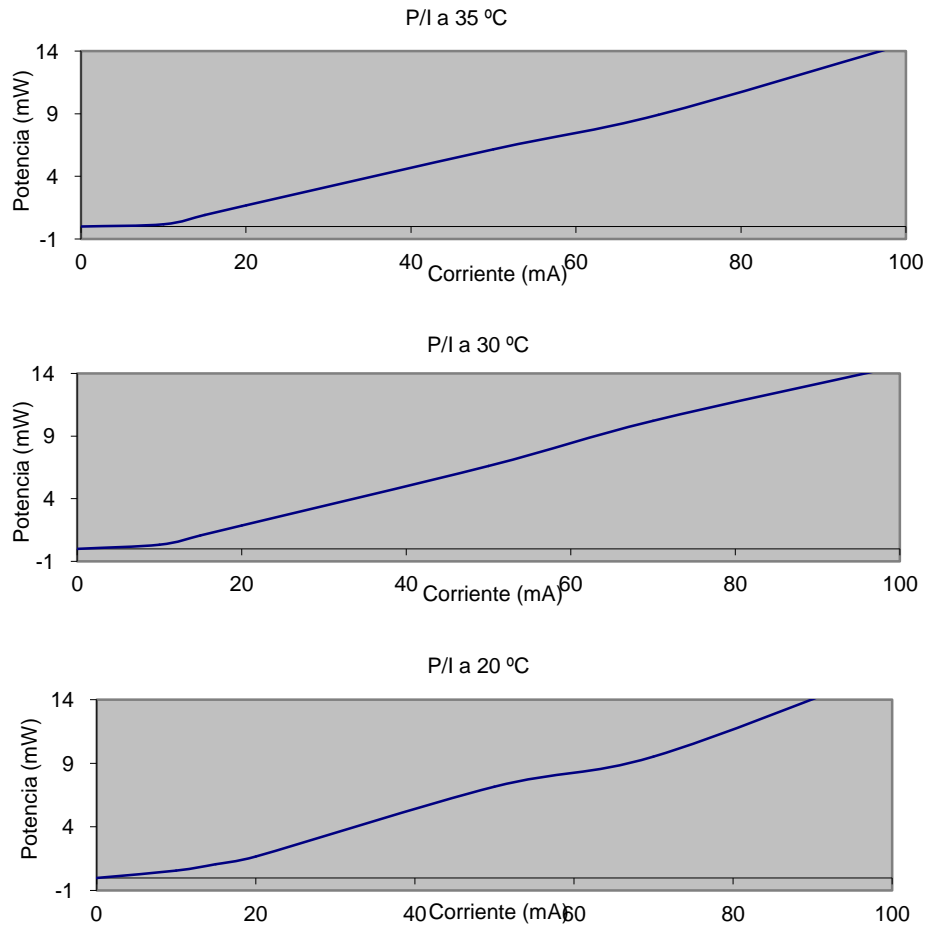


Fig. 4.2 Curva P/I a diferentes temperaturas

La forma de la curva es la esperada. El *threshold* se puede ver bien en las 2 primeras. Se sitúa en torno a los 10mA.

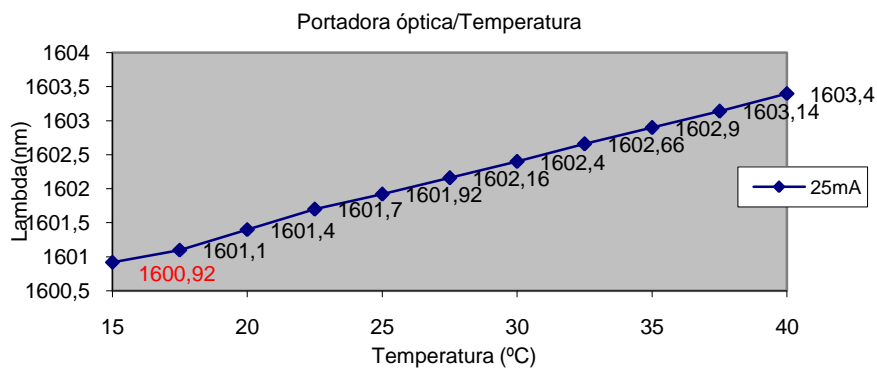
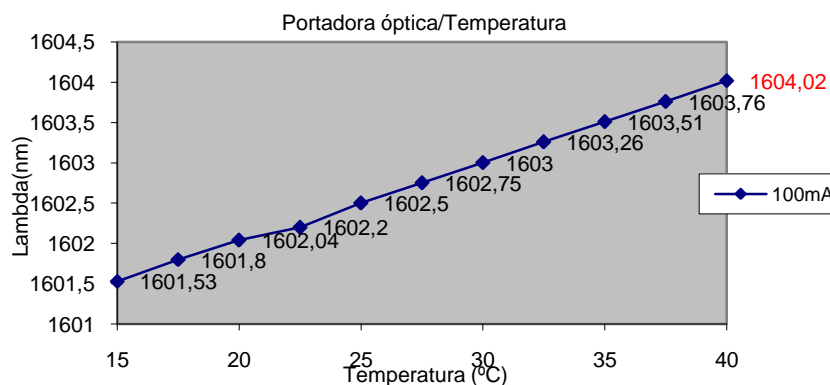


Fig. 4.3 Curva λ /Temperatura a 25mA

Fig. 4.4 Curva λ /Temperatura a 100mA

En rojo podemos ver la λ mínima y máxima. El punto de interés son las frecuencias ópticas centrales, dentro de la banda de trabajo del diodo, en las que el láser no sufre.

4.2 Caracterización automática

El procedimiento para caracterizar automáticamente el diodo láser es el siguiente. Instalamos el diodo láser a analizar en el socket con sumo cuidado y cerramos las pestañas. Conectamos su fibra al multímetro de potencia HP y el zócalo al controlador de corriente y temperatura. Utilizamos la herramienta creada por nosotros mismos *LD characterizer* para automatizar las medidas y obtener las gráficas de potencia en función de la corriente. Es necesario conectar previamente un cable GPIB al controlador y otro al multímetro para poder utilizar el programa desde el ordenador.

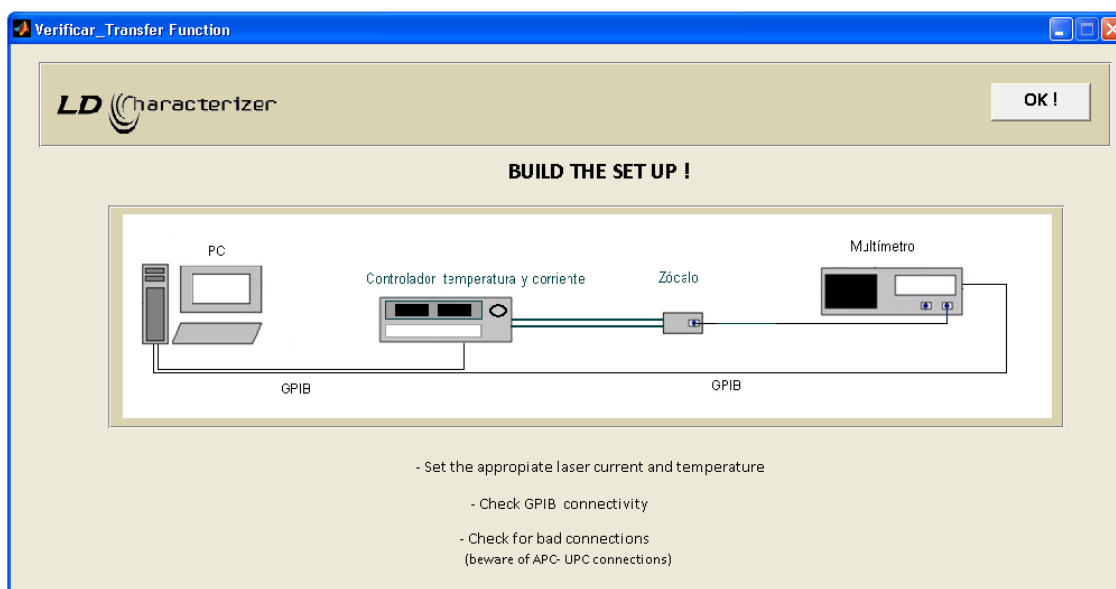


Fig. 4.5 Esquema del sistema de automatización

El aspecto que tiene el LD characterizer es el que se puede ver en la figura 4.6.

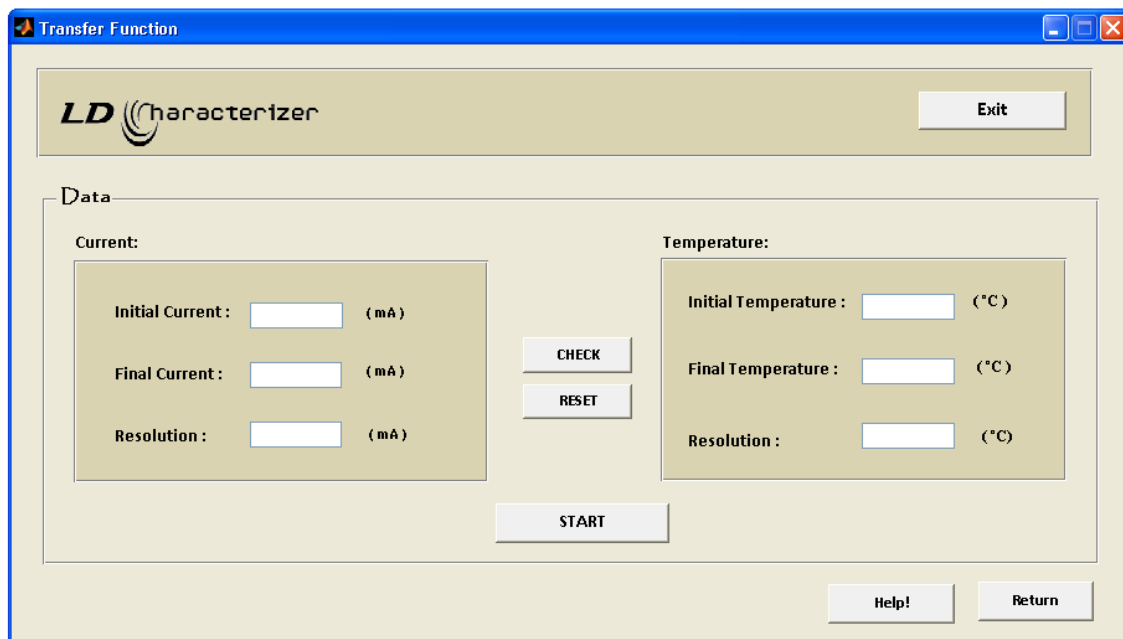
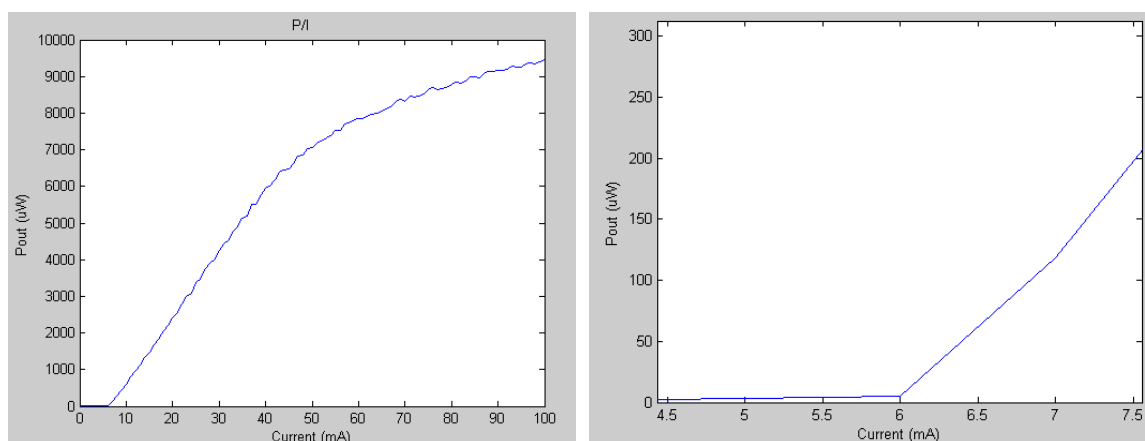


Fig. 4.6 Aspecto del LD characterizer.

Simplemente hemos de rellenar los campos solicitados recordando que no es bueno superar los 100mA de corriente ni salir del margen de temperatura tolerado situado entre 20°C y 35°C. El programa fija la temperatura y hace un barrido en corriente; monitoriza la potencia con el multímetro.

En nuestro caso hemos elegido un barrido de corriente de 0 a 100 mA con una resolución de 1 mA para cada temperatura comprendida entre los 20 °C y los 35°C con saltos de 5°C. Hemos seleccionado de las gráficas obtenidas las que corresponden a los márgenes de temperatura superior e inferior del láser J905, es decir 20°C y 35°C, para tener una visión global de las medidas de caracterización. El resto se pueden encontrar en los anexos. La duración de la representación de las gráficas de la figura dura aproximadamente 5 minutos.

Fig. 4.7 Gráfica P/I y zoom del *threshold* del J905 a 20°

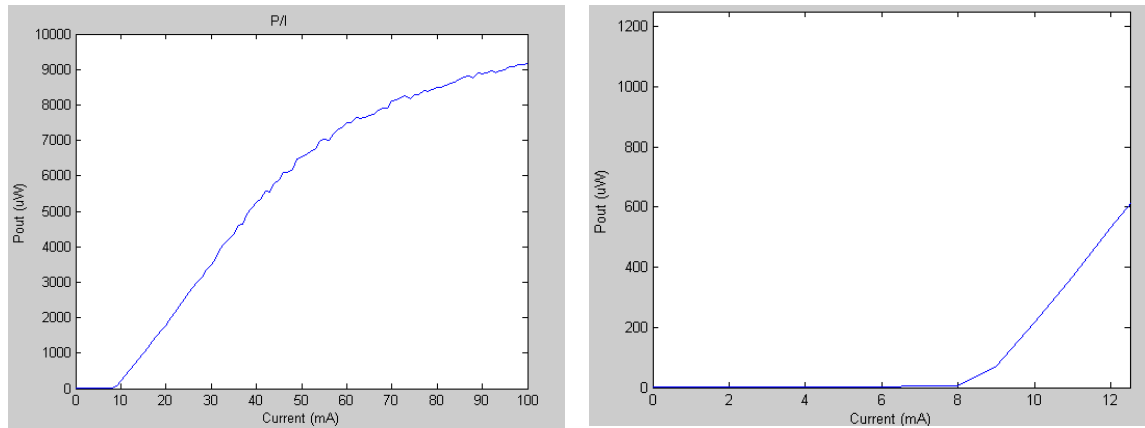


Fig. 4.8 Gráfica P/I y zoom del *threshold* del J905 a 35°

Analizando las gráficas podemos observar que el *threshold* aumenta al aumentar la temperatura. Para un barrido de corriente a 20°C el umbral se sitúa aproximadamente a 6 mA. Para un barrido de corriente a 35°C el umbral se sitúa aproximadamente a 8 mA. El láser actúa linealmente aproximadamente de 10 a 50 mA por lo que es conveniente que la corriente de *bias* se sitúe dentro de ese margen.

A partir de los resultados obtenidos podemos concluir que a la hora de modular lo ideal es trabajar en principio con una corriente continua de alimentación de unos 30mA y una corriente de pico en alterna de unos 20mA. Utilizando estos valores trabajaremos en zona lineal y superaremos el *threshold*; evitaremos la aparición de bandas no deseadas en el espectro eléctrico.

CAPÍTULO 5. PRUEBAS EXPERIMENTALES EN EL BANCO DE MEDIDAS

En este último capítulo describiremos los pasos seguidos para modular una señal elemental de radiofrecuencia en nuestro banco y explicaremos el heterodinaje de los diodos láser, cuyo objetivo principal es poder observar en el espectro eléctrico lo que sucede a frecuencias ópticas.

5.1 Modulación RF

5.1.1 Cálculos previos

Para no exceder la corriente máxima permitida y superar el *threshold* debemos tener en cuenta tanto la corriente continua como la alterna a la hora de modular. La corriente de pico en alterna sumada a la corriente en continua no debe superar los 100mW. Su diferencia debe superar los 10 mW de *threshold*.

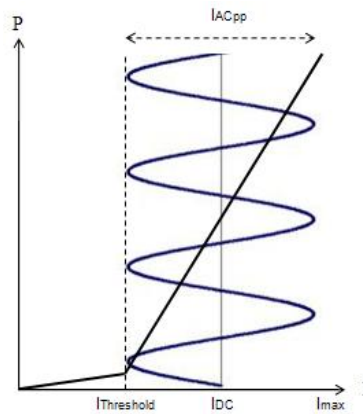


Fig. 5.1 Corriente máxima y mínima permitida para un buen funcionamiento

Teniendo en cuenta la impedancia de entrada, la corriente de *threshold*, la corriente máxima y usando la Ley de Ohm podemos calcular la corriente alterna y continua óptima.

$$I_{ACpp} = \frac{V_{ACpp}}{Z_{AC}} \quad (5.1)$$

$$I_{ACp} = \frac{I_{ACpp}}{2} \quad (5.2)$$

$$I_{TH} = I_{DC} - I_{ACp} \quad (5.3)$$

$$I_{max} = I_{DC} + I_{ACp} \quad (5.4)$$

Si por ejemplo modulamos un coseno de 1 voltio pico a pico teniendo una impedancia de 25 Ω , cómo vemos en el datasheet del fabricante, obtenemos 40 miliamperios de pico a pico, 20mA de pico de corriente alterna. En este caso

no podremos superar los 80 mA de corriente continua para no superar la máxima (100mA), ni bajar de los 30 mA para superar la de *threshold* (10mA).

5.1.2 Realización práctica

En primer lugar conectamos los controladores de corriente y temperatura a los zócalos como hemos explicado anteriormente en el apartado 3.3 e instalamos los elementos de transmisión necesarios para convertir la señal eléctrica en óptica y modular la portadora óptica resultante.

En las figuras 5.2 y 5.3 se muestra por un lado como colocar el circuito impreso *BIAS-T* en el zócalo LM14S2 (tal y cómo está descrito en el segundo capítulo) y por otro lado cómo conectar el generador de funciones Agilent (a través de conectores SMA) para introducir la señal RF. Utilizamos una señal básica, un coseno que puede llegar hasta los 80MHz (restricción del generador).



Fig. 5.2 Colocación del circuito

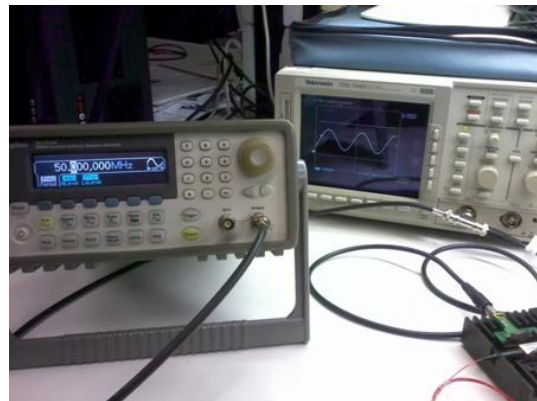


Fig. 5.3 Disposición de los aparatos

En segundo lugar instalamos los elementos de recepción necesarios para convertir la señal óptica en eléctrica a la vez que se desmodula. Para ello conectamos el detector opto eléctrico a la fibra del diodo láser utilizando previamente una fibra intermedia debido a los diferentes tipos de pulidos utilizados en las diferentes fibras(ver fig. 5.4).

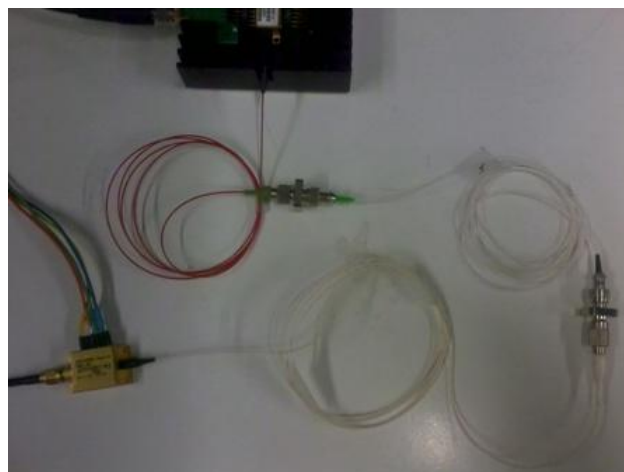


Fig. 5.4 Conexión de la fibra del láser con el detector

Finalmente conectamos el detector opto eléctrico al ESA utilizando un cable SMA-SMA con una transición SMA-N. Conectamos los controladores e insertamos los valores correctos de funcionamiento dentro de los márgenes ya comentados. Tras calibrar el ESA obtenemos la delta esperada (ver fig. 5.5) a una frecuencia de 80MHz ya que el generador proporciona esa frecuencia

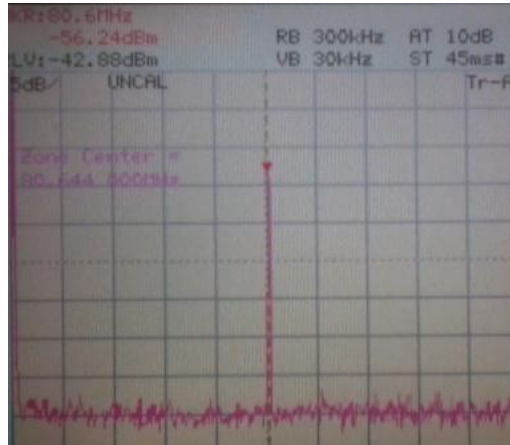


Fig. 5.5 Resultado de la demodulación en RF

El esquema del sistema de modulación en RF se puede ver en la siguiente figura.

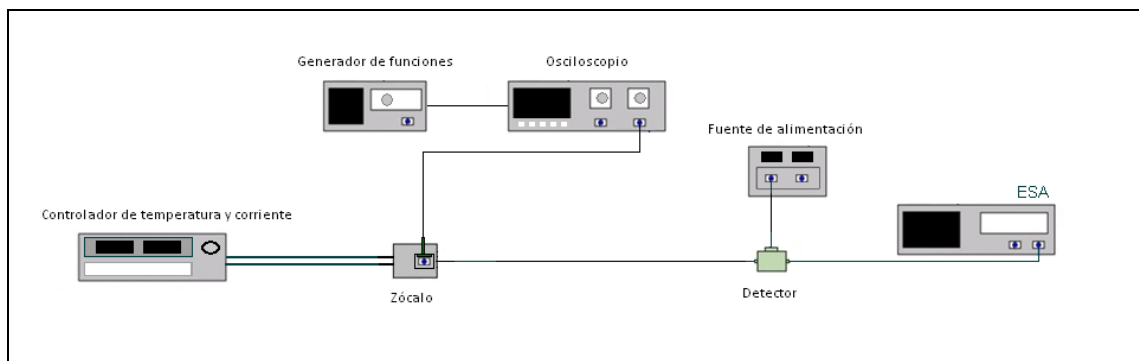


Fig. 5.6 Esquema del sistema de modulación en RF

Tras realizar una serie de pruebas con señales RF a diferentes frecuencias y a diferentes amplitudes podemos concluir que por encima de 500 mV de pico a pico aparecen no linealidades. Aparecen otras bandas a la hora de desmodular. Por ello es recomendable no sobrepasar este valor de amplitud de pico a pico para un correcto funcionamiento.

5.2 Heterodinaje

El heterodinaje es el proceso electrónico consistente en cambiar la frecuencia de una portadora sin modificar las características de la señal moduladora. En nuestro caso queremos heterodinar para ver en el espectro eléctrico lo que sucede en el espectro óptico.

En primer lugar conectamos los controladores de corriente y temperatura a los zócalos así como el sistema de modulación como hemos explicado

anteriormente (apartados 3.3 y 5.1 respectivamente). En este caso utilizamos los dos zócalos ya que necesitamos dos láseres para proporcionar dos portadoras ópticas. Solo uno de ellos se modula. En segundo lugar conectamos individualmente con la ayuda de transiciones la fibra de los dos láseres a las dos entradas del acoplador para sumarlos. Conectamos una de las dos salidas al OSA y la otra al detector opto eléctrico (con la ayuda de una fibra intermedia) que a su vez se conecta al ESA (apartado 5.1). En las figuras 5.7 y 5.8 podemos ver el proceso explicado.

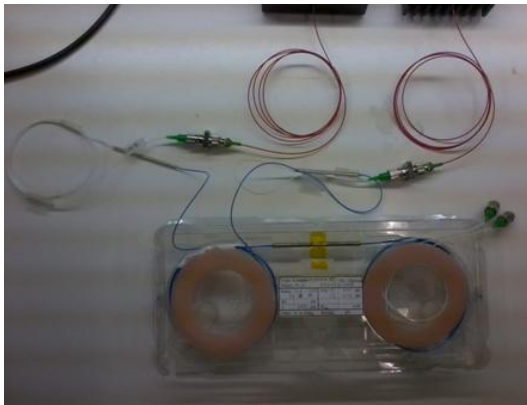


Fig. 5.7 Entradas al acoplador

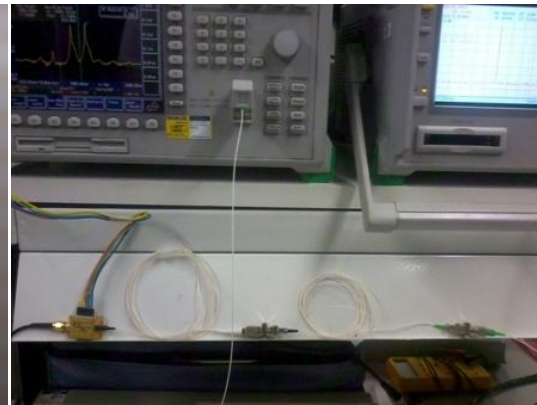


Fig. 5.8 Salidas del acoplador

Finalmente realizamos el experimento. Para ello variamos la temperatura de los controladores para conseguir ver en el OSA como se juntan las dos portadoras ópticas (ver fig. 5.9).

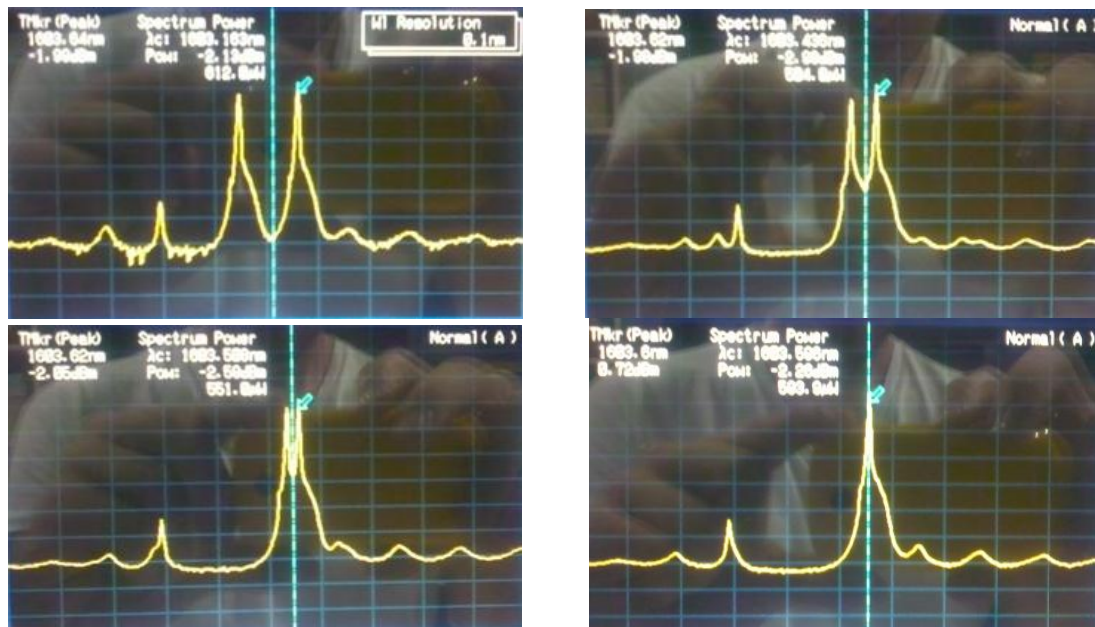


Fig. 5.9 Fusión de las portadoras ópticas en OSA

En el momento que visualmente parecen juntas en el OSA, podemos concluir que la distancia entre las portadoras será inferior a la resolución del OSA, 50

pm. Quiere eso decir que la distancia frecuencial entre ellas es inferior a 6.25 GHz. No es seguro por tanto que podamos llegar a visualizarlas en nuestro ESA que tiene 3 GHz de margen máximo. Una variación de la corriente nos ayuda a acercar más las portadoras de los láseres hasta que aparece la señal producto del batido en el ESA.

Hay que recordar que la temperatura hace variar mucho la longitud de onda, la corriente también pero mucho menos. El resultado final del heterodinaje con modulación es el que se puede ver en la figura 5.10. Si desactivamos la salida del generador únicamente vemos la portadora.

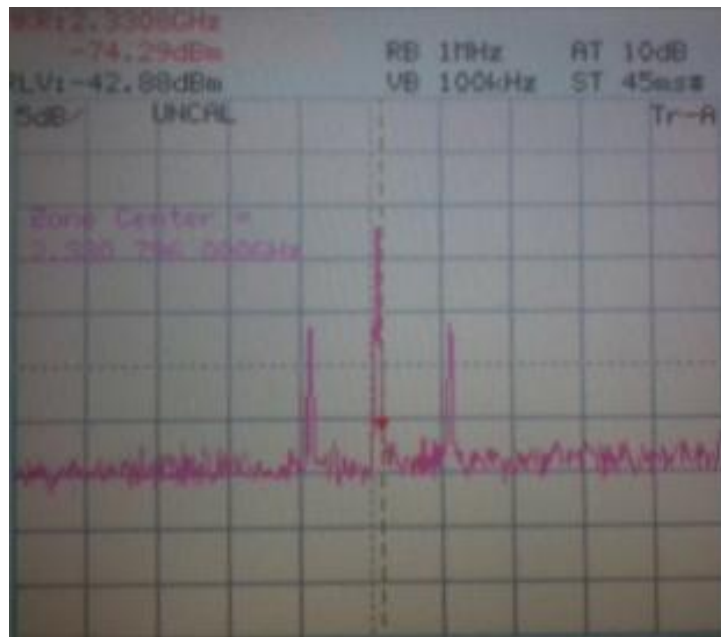


Fig. 5.10 Portadora óptica modulada en ESA

El sistema completo de nuestro experimento de heterodinaje es el siguiente.

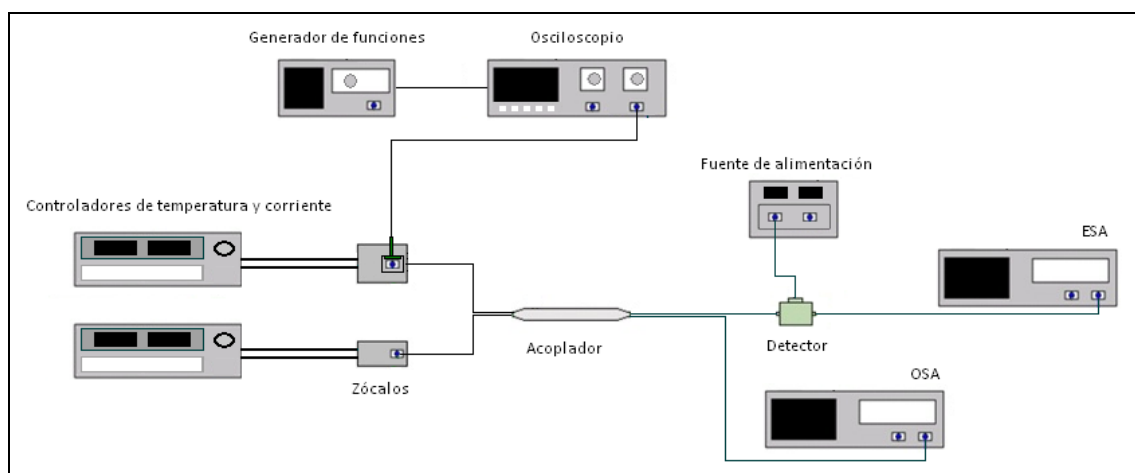


Fig. 5.11 Esquema del sistema de heterodinaje

Tras realizar una serie de medidas variando la longitud de onda de la portadora óptica y la amplitud de la señal modulada podemos observar que a partir de una corriente de *bías* de 55 mA la señal desaparece en el ESA; también cabe destacar que si la señal de RF tiene una amplitud superior a 20mVpp pico a pico aparecen otras bandas en la señal desmodulada.

La observación más importante es que debido a que el detector y el acoplador trabajan óptimamente en banda C y nuestros láseres son de banda L la señal recibida es de muy poca potencia. Bajando nuestra portadora óptica heterodinada hasta lo mínimo posible (1600nm) conseguimos aumentar el nivel de señal detectado levemente.

CONCLUSIONES Y LINEAS DE FUTURO

En este proyecto hemos implementado un banco de medidas de caracterización de diodos láser semiconductores con el que obtener información rápida y precisa de las características de un diodo láser en concreto y estudiar las modulaciones en los sistemas ópticos.

En primer lugar empezamos reuniendo todo el material necesario para poner en marcha el banco en el laboratorio. Obtener todos los aparatos no fue fácil debido al fuerte componente hardware del proyecto. Una vez conseguido el conjunto procedimos a testearlo y familiarizarnos con él. Apareció un problema de compatibilidad. Lo resolvimos y pudimos hacer una serie de medidas manuales y un programa de caracterización automática. En último lugar hicimos un experimento de heterodinaje. A continuación detallaremos los puntos más relevantes surgidos a lo largo de todo este proyecto.

Testeando el funcionamiento de los láseres comprobamos que los zócalos de la compañía Thorlabs (utilizados para su soporte) y los controladores de temperatura y corriente de la compañía ILX Lightwave (utilizados para su control) no eran compatibles. Los zócalos son versátiles para poner diferentes tipos de láseres butterfly pero la interfaz entre los zócalos y el controlador no lo es. Seguramente por razones de interés económico cada compañía sigue su propio estándar con el objetivo de conseguir la venta del conjunto zócalo-controlador. En el departamento de comunicaciones ópticas no se conocía este inconveniente por lo que no se consideró a la hora de la compra.

Tras un estudio exhaustivo encontramos una solución y diseñamos un cable interfaz que permitió que ambos dispositivos funcionaran en un mismo sistema. El cable interfaz es una solución económica y que permite una perfecta compatibilidad.

Realizando medidas manuales de caracterización de diodos láser semiconductores obtuvimos gráficas muy concluyentes. Las representaciones de la potencia óptica en función de la intensidad de alimentación así como las de la longitud de onda emitida en función de la temperatura nos permitió observar el umbral o *threshold* (punto de referencia de emisión de luz) y el margen de portadoras ópticas posibles respectivamente. No obstante este procedimiento resultó laborioso al tratarse de ir variando algunos parámetros simultáneamente, por lo que creamos un software capaz de automatizar la medida más importante de caracterización (potencia óptica en función de la corriente). Lo bautizamos como LD characterizer.

Heterodinando dos diodos láser semiconductores, podemos bajar a frecuencias visibles por el analizador de espectros eléctrico (hasta 3GHz) señales de frecuencia óptica. Eso nos permite visualizar con resolución suficiente el espectro óptico de las señales moduladas en los láseres. Conseguimos visualizar la diferencia de dos portadoras ópticas en el ESA (una de ellas

modulada) con la que poder estudiar los diferentes fenómenos sufridos por la modulación a esas frecuencias.

En próximos experimentos podremos mejorar el LD Characterizer programándolo para que nos muestre la curva de caracterización de la longitud de onda en función de la temperatura. De esta manera visualizaremos las longitudes de onda mínimas y máximas permitidas por el diodo láser semiconductor estudiado. Aprovechando las características de heterodinaje del banco de medidas, podremos investigar sobre métodos de modulaciones avanzadas y profundizar y analizar los diferentes tipos de modulaciones existentes.

REFERENCIAS

- [1] **Proyecto:** Cardona Fernández J. y Fernández Campos L., *Estudio de técnicas de modulación para enlaces ópticos*, TFC-UPC, (2009).
- [2] **Manual:** Profile Optische Systeme GmbH, *Operation Manual of Laser diode mounts (LDH xxx)*, 2000
- [3] **Manual:** THORLABS Inc., *Operating Manual of Butterfly laser diode mounts LM14S2*, revision 2009
- [4] **Manual:** ILX lightwave Corporation, *User's guide of Laser Diode Controllers LDC 3700-C series*, 2010
- [5] **Manual:** ILX lightwave Corporation, *User's guide of Thermoelectric Temperature Controller LDT-5412*, 2007
- [6] **Manual:** ILX lightwave Corporation, *User's guide of Ultra Low Noise Current Source LDX-3620*, 2008
- [7] **Manual:** Hewlet Packard, *HP 8153A manual*, xxxx
- [8] **Web:** www.monografias.com



**Escola Politècnica Superior
de Castelldefels**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ANEXOS

TÍTULO DEL TFC/PFC: Diseño y puesta en marcha de un banco de medidas de caracterización de diodos láser semiconductores

TITULACIÓN: Ingeniería Técnica de Telecomunicación especialidad en Sistemas de Telecomunicación

AUTOR: Eduard Tous Requillard

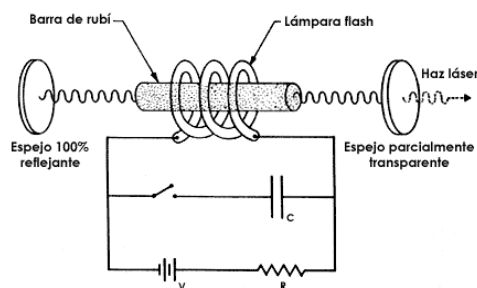
DIRECTOR: Concepción Santos Blanco

FECHA: 28 de septiembre de 2010

ANEXO I. TIPOS DE LÁSERES

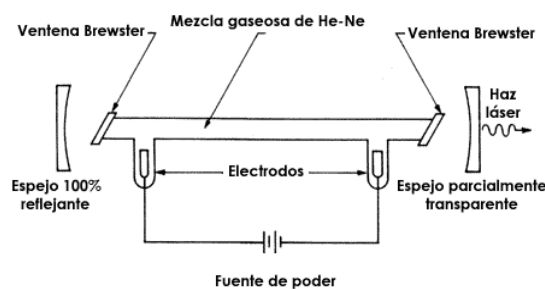
El láser de Rubí

Éste fue el primer láser. Fue construido por Theodore Maiman en 1960, quien usó como medio activo un cristal de rubí sintético. El rubí es una piedra preciosa formada por cristales de óxido de aluminio (Al_2O_3 , en estado puro llamado zafiro). Contiene una pequeña concentración de alrededor de 0.05% de impurezas de óxido de cromo (Cr_2O_3). La presencia del óxido de cromo hace que el transparente cristal puro de óxido de aluminio se torne rosado y llegue a ser hasta rojizo si la concentración de óxido de cromo aumenta. La forma geométrica típica que adopta el rubí usado en un láser es la de unas barras cilíndricas de 1 a 15 mm de radio y algunos centímetros de largo.



El láser de Helio-Neón

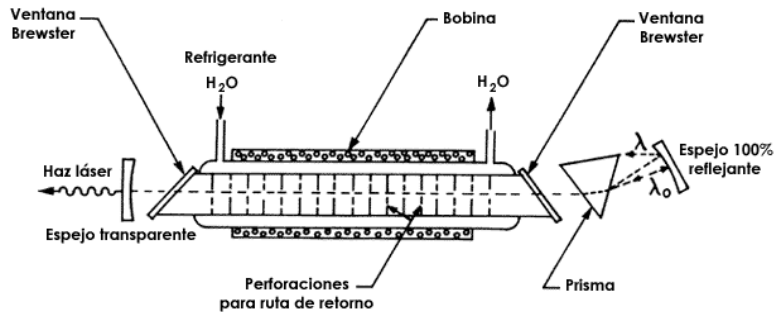
El láser de helio-neón fue el primer láser de gas que se construyó. Actualmente sigue siendo muy útil y se emplea con mucha frecuencia. Los centros activos de este láser son los átomos de neón, pero la excitación de éstos se realiza a través de los átomos de helio. Una mezcla típica de He-Ne para estos láseres contiene siete partes de helio por una parte de neón.



El láser de Argón ionizado

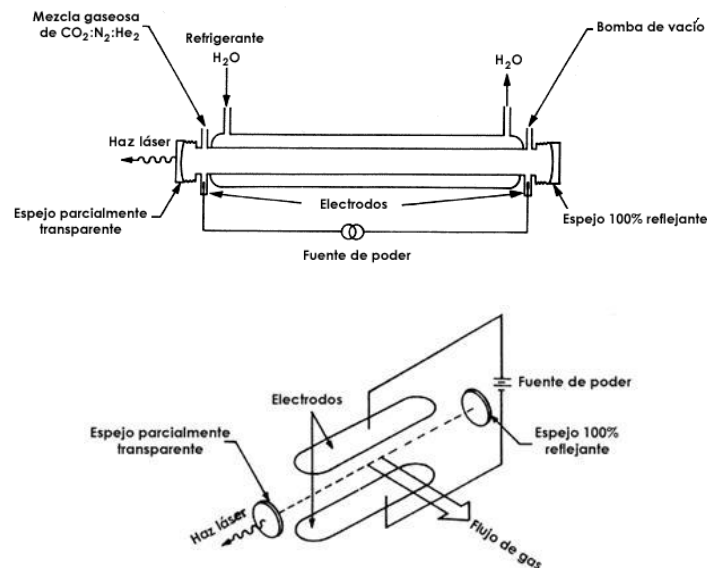
Las transiciones radiactivas entre niveles altamente excitados de gases nobles se conocen desde hace largo tiempo. La oscilación láser en este medio activo data desde la década de los sesenta. Entre estos láseres, el de argón ionizado es el que más se utiliza, debido a sus intensas líneas de emisión en la región

azul-verde del espectro electromagnético y a la relativa alta potencia continua que se puede obtener de él.



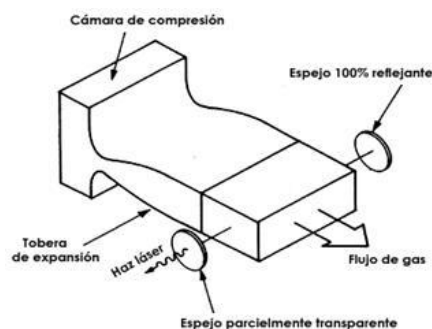
El láser de CO₂

El láser de dióxido de carbono (CO₂) es el ejemplo más importante de los láseres moleculares. El medio activo en este láser es una mezcla de dióxido de carbono (CO₂), nitrógeno (N₂) y helio (He), aunque las transiciones láser se llevan a cabo en los niveles energéticos del CO₂. El N₂ y el He son importantes para los procesos de excitación y des excitación de la molécula de CO₂.



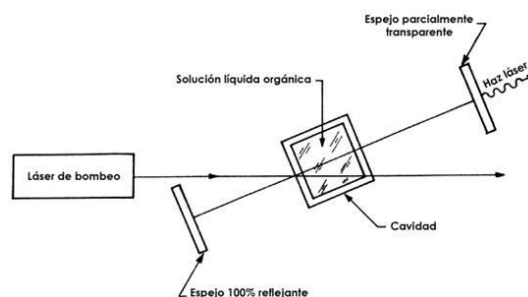
El láser de gas dinámico de CO₂

La diferencia fundamental entre un láser de gas dinámico y un láser convencional de CO₂ radica en el método de bombeo empleado. En el láser de gas dinámico la radiación láser es producida al enfriar rápidamente una mezcla de gas precalentado que fluye a lo largo de una tobera hasta la cavidad del resonador. Por las altas potencias que es capaz de proporcionar se ha convertido en una importante alternativa para ciertas aplicaciones industriales.



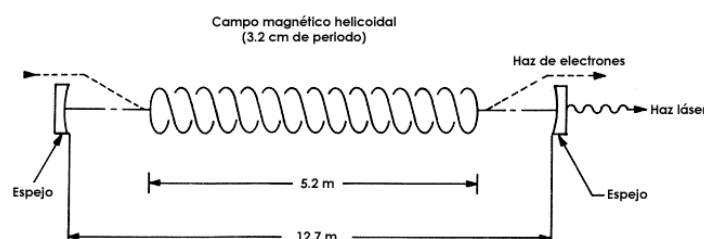
El láser de soluciones líquidas orgánicas

En este tipo de láseres el medio activo está compuesto por líquidos en los que se han disuelto compuestos orgánicos, como los hidrocarburos y sus derivados. Estos láseres son bombeados ópticamente. Una de sus más importantes características radica en que pueden emitir radiación láser en anchas bandas de longitud de onda, es decir que son "sintonizables".



El láser de electrones libres

Todos los sistemas láser anteriormente vistos basan su funcionamiento en la inversión de población lograda en un medio activo atómico o molecular. Por tanto, la longitud de onda a la cual el láser emite está inevitablemente determinada por los centros activos contenidos en la cavidad láser, es decir las transiciones energéticas permitidas a los átomos o moléculas de dicho medio. Un láser basado en la emisión de radiación estimulada por electrones libres no tiene las limitaciones propias de los láseres anteriormente vistos, pues los electrones libres no están sujetos a la existencia de transiciones energéticas particulares y por lo tanto pueden generar radiación electromagnética en cualquier longitud de onda del espectro. Este tipo de láseres utilizan como medio activo un haz de electrones que se mueve con velocidades cercanas a la de la luz. Debido a esto se le llama haz relativista de electrones. Podemos describir un láser de electrones libres como un instrumento que convierte la energía cinética de un haz relativista de electrones en radiación láser.



ANEXO II. APLICACIONES DEL LÁSER

Debido a las propiedades particulares del haz de radiación luminosa con su gran potencia concentrada (el láser), hacen de él una herramienta ideal en muchas aplicaciones donde se precise de una fuente controlada y localizada de energía. Si a este factor diferenciador inicial se le suma la facilidad para su control automático y regulación, se observa cómo se amplía el campo de utilización a otros usos en los que la precisión, la minimización de daños colaterales y la menor modificación de las características del material circundante y de sus dimensiones son importantes. De ahí el amplísimo rango de aplicaciones.

Aplicaciones en la medicina

El láser en la medicina es cada vez más usado al actuar muy selectivamente sobre la lesión, dañando mínimamente los tejidos adyacentes. Por eso produce muy pocos efectos secundarios en cuanto a destrucción de otro tejido sano de su entorno e inflamación, así como presentar una esterilización completa al no ser necesario instrumental quirúrgico. En la dermatología, éstos pueden eliminar casi todos los defectos de la piel bajo anestesia local. En oftalmología son utilizados los láseres de excímero, que eliminan capas submicrométricas de la córnea, modificando su curvatura. El ojo es transparente a la luz entre aproximadamente 0.38 y 1.4 μm . A menores longitudes de onda el cristalino y la córnea absorben la radiación y a mayores longitudes de onda son las moléculas de agua presentes en el ojo las que absorben la luz. Por medio de radiación láser (en este caso con láser de argón ionizado) es posible en la actualidad tratar casos de desprendimiento de retina. Como se muestra en la figura el haz láser es focalizado en la retina por el propio cristalino del paciente. Los láseres de He-Ne han sido utilizados con éxito en dermatología para el tratamiento de manchas en la piel o como auxiliares para estimular la regeneración de tejido en cicatrices.

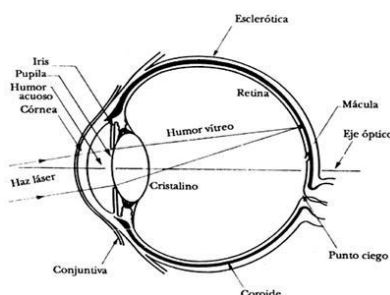


Fig. 1.19

Aplicaciones en la holografía

En la holografía, las ondas se solapan en el espacio o se combinan para anularse (interferencia destructiva) o para sumarse (interferencia constructiva) según la relación entre sus fases. Debido a la relación especial entre los fotones del haz del láser, los láseres son considerados el mejor ejemplo

conocido de efectos de interferencia representados en los interferómetros y hologramas. La holografía es utilizada para proporcionar imágenes en tres dimensiones. También es utilizada como sistema de seguridad en las tarjetas de crédito.

Aplicaciones en la ingeniería mecánica

En el mundo industrial se han producido avances enormes en el desarrollo e implantación de tecnologías láser en todo tipo de materiales.

Dentro del procesamiento de materiales, el láser es utilizado en todas las ramas (corte, soldadura, marcado microscópico, etc.) al poder ser empleados en casi todos los materiales y tener una muy buena respuesta en el mecanizado. Se utiliza para:

- Realizar Soldaduras
- Tratamientos superficiales como:
 - Endurecimiento o temple
 - Aleación superficial
 - Recubrimiento superficial
 - Fusión superficial
- Corte mediante el láser
- Taladrado y puncionado
- Marcado mediante láser

Aplicaciones en los sistemas de telecomunicaciones y sistemas informáticos

Las aplicaciones más cotidianas de los sistemas láser son, por ejemplo, el lector del código de barras, el almacenamiento óptico y la lectura de información digital en discos compactos (CD) o en discos versátiles digitales (DVD), que se diferencia en que éstos últimos utilizan una longitud de onda más corta (emplean láser azul en vez de rojo). En el mismo sentido podemos encontrar las fotocopiadoras e impresoras láser, o las comunicaciones mediante fibra óptica. Las aplicaciones para un futuro próximo son los ordenadores cuánticos u ópticos. Estos serán capaces de procesar la información a la velocidad de la luz; los impulsos eléctricos se crearán a través de pulsos de luz proporcionados por sistemas láser [ver ref.8].

Resumen

Las aplicaciones científicas del láser son muy variadas. Estas incluyen campos tan dispares como la electrónica de consumo, las tecnologías de la información (informática), análisis en ciencia, métodos de diagnóstico en medicina, así como el mecanizado, soldadura o sistemas de corte en sectores industriales y militares.

ANEXO III. GRÁFICAS Y CÓDIGO DE LA CARACTERIZACIÓN AUTOMÁTICA

Código correspondiente a la función de transferencia obtenida automáticamente con el programa LD Characterizer.

```
function [Potencia]=HP8153A_pow1()

%global HP8153A_pow1;
% Esta función entrega la potencia del multímetro HP8153A en dBm

% Se crea un objeto gpib
multimeter=gpib('ni', 0, 22);

% Se abre el objeto
fopen(multimeter);

% Se pide la identificación del instrumento
fprintf(multimeter, '*idn?');
instrument=fscanf(multimeter);

%Se toman tres mediciones de potencia y se promedian
fprintf(multimeter, 'READ:pow?')
Potencia1=fscanf(multimeter, '%g');
    %Pasamos la medida de dbm a mW:
    PmW1=10^(Potencia1/10);

fprintf(multimeter, 'READ:pow?')
Potencia2=fscanf(multimeter, '%g');
    %Pasamos la medida de dbm a mW:
    PmW2=10^(Potencia2/10);

fprintf(multimeter, 'READ:pow?')
Potencia3=fscanf(multimeter, '%g');
    %Pasamos la medida de dbm a mW:
    PmW3=10^(Potencia3/10);

Potencia=(PmW1+PmW2+PmW3)/3; %Aquí tenemos la potencia en mW.

fclose(multimeter)
delete(multimeter)
clear multimeter

% Graficamos la función de transferencia

function Ejecutar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Ejecutar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
    %function[]=ftrans_mod_lineal()

% Esta función grafica la funcion de transferencia de un modulador
óptico.
```

```
% Se sirve del HP8153A como medidor de potencia

clc
clear all

%leer de pantalla
data=guidata(gcbo);

istart = str2double(get(data.IIn, 'String'));
if isnan(istart)
    errordlg('The value must be numeric', 'ERROR')
    set(handles.IIn, 'String', 0);
    istart=0;
end

istop=str2double(get(data.IFi, 'String'));
if isnan(istop)
    errordlg('The value must be numeric', 'ERROR')
    set(handles.IFi, 'String', 0);
    istop=0;
end

ipaso=str2double(get(data.Resolucion, 'String'));
if isnan(ipaso)
    errordlg('The value must be numeric', 'ERROR')
    set(handles.Resolucion, 'String', 0);
    ipaso=0;
end

tstart = str2double(get(data.tec_ini, 'String'));
if isnan(tstart)
    errordlg('The value must be numeric', 'ERROR')
    set(handles.tec_ini, 'String', 0);
    tstart=0;
end

tstop=str2double(get(data.tec_fin, 'String'));
if isnan(tstop)
    errordlg('The value must be numeric', 'ERROR')
    set(handles.tec_fin, 'String', 0);
    tstop=0;
end

tpaso=str2double(get(data.tec_resol, 'String'));
if isnan(tpaso)
    errordlg('The value must be numeric', 'ERROR')
    set(handles.tec_resol, 'String', 0);
    tpaso=0;
end

%Creamos un fichero para guardar los datos
[fitxer,path]=uiputfile('*.dat', 'Save');

if isequal(fitxer,0)
    return
else
    fitxer=sprintf('%s%s', path, fitxer);
    fi=fopen(fitxer, 'wt');
```

```

        msgbox('Do not touch anything! Measurment in
progress!!','Aplication');
end

%Configuramos el Laser Diode Controller
g=gplib('ni',0,1);
fopen(g);
fprintf(g, 'TEC:DIS:T')
fprintf(g, 'TEC:Dis:Set')
fprintf(g, 'TEC:MODE:T')
fprintf(g, 'TEC:LIM:THI 40')
fprintf(g, 'LAS:DIS:LDI')
fprintf(g, 'LAS:DIS:set')
fprintf(g, 'LAS:MODE:ILBW')
fprintf(g, 'LAS:LIM:I2 110')

fclose(g)
delete(g)
clear g

%Bucle de adquisición de datos
for i=tstart:tpaso:tstop

    g=gplib('ni',0,1);
    fopen(g)

    t=i;

    fprintf(g, 'Tec:T %g ',t);
    fprintf(g, 'TEC:OUTPUT 1');
    pause(30)
    fprintf(g, 'TEC:T?');
    temp=fscanf(g, '%s');

    fclose(g)
    delete(g)
    clear g

    l=1;
    k=1;

    for j=istart:ipaso:istop

        g=gplib('ni',0,1);
        fopen(g)

        c=j;

        fprintf(g, 'LAS:ldi %g ',c);
        fprintf(g, 'LAS:OUT ON')
        pause(2)
        fprintf(g, 'LAS:ldi?');
        current = fscanf(g, '%s');

        fclose(g)
        delete(g)
        clear g

        pause(3)
    end
end

```



```
potencia = HP8153A_pow1; % Medición de potencia en Watts (W)
potencia = potencia*1e3; % Medición de potencia en Micro Watts
(uW)
pot(l)=potencia;

l=l+1;

end

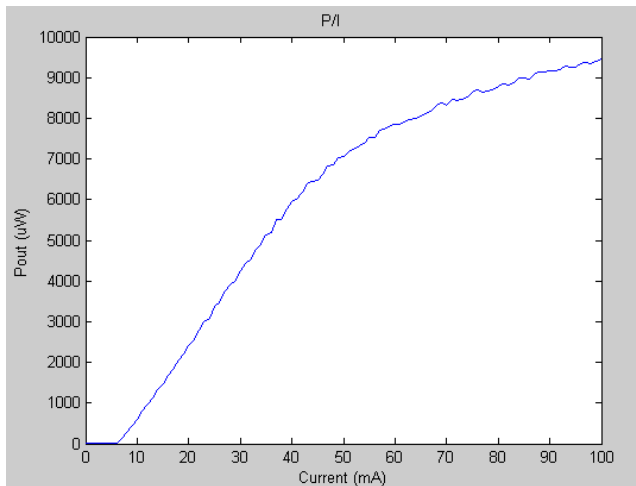
%En el vector "pot" tenemos las medidas
%Se grafica las función de transferencia en uW

ibarrido=[istart:ipaso:istop];

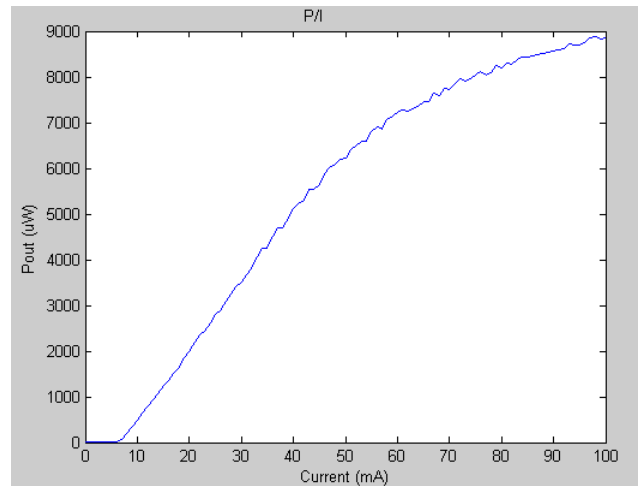
figure(1)
plot(ibarrido,pot)
title('Transfer Function uW');
zoom on
ylabel('Pout (uW)');
xlabel('Current (mA)');

end

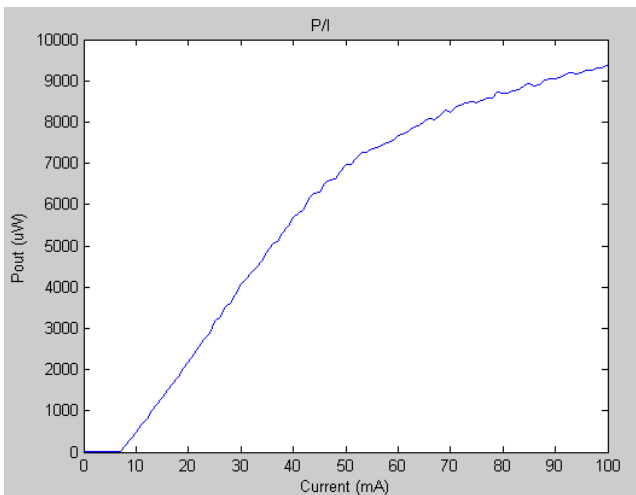
st=fclose(fi);
msgbox('Finalized','Application');
```



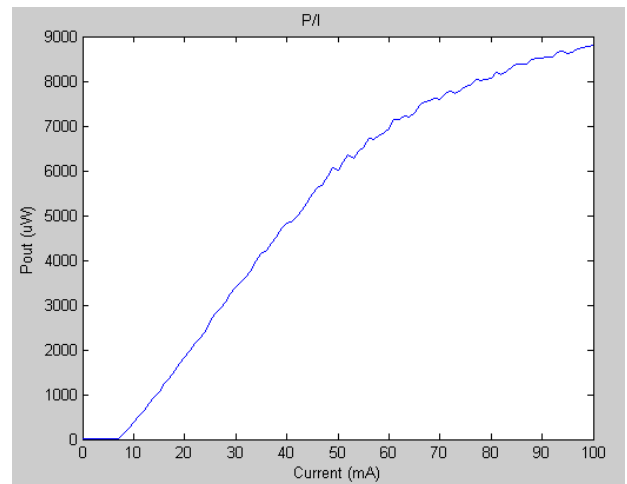
Barrido corriente a 20° del J905



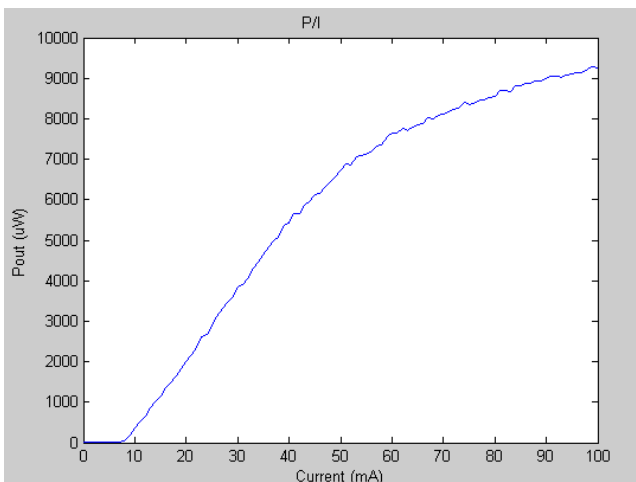
Barrido corriente a 20° del J923



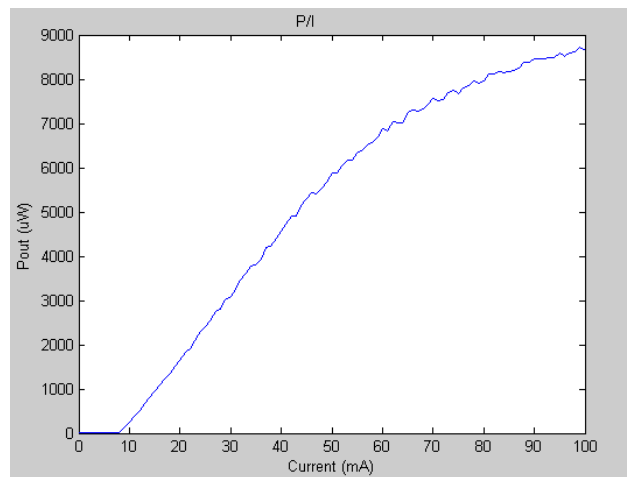
Barrido corriente a 25° del J905



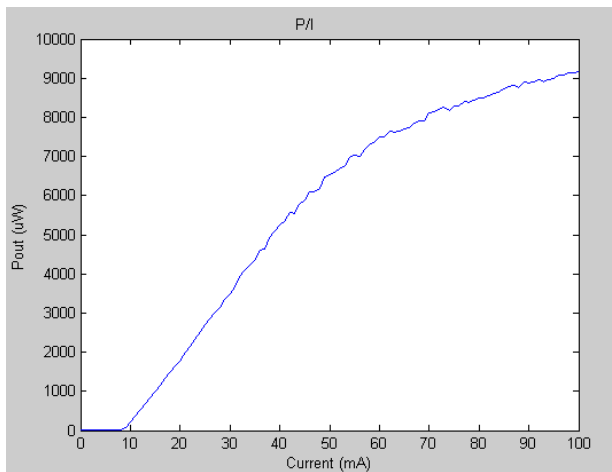
Barrido corriente a 25° del J923



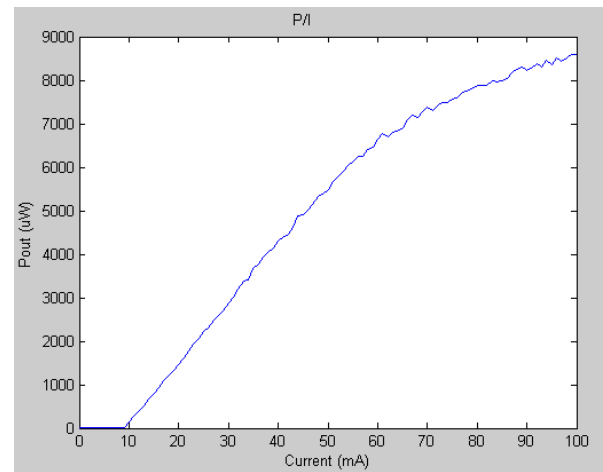
Barrido corriente a 30° del J905



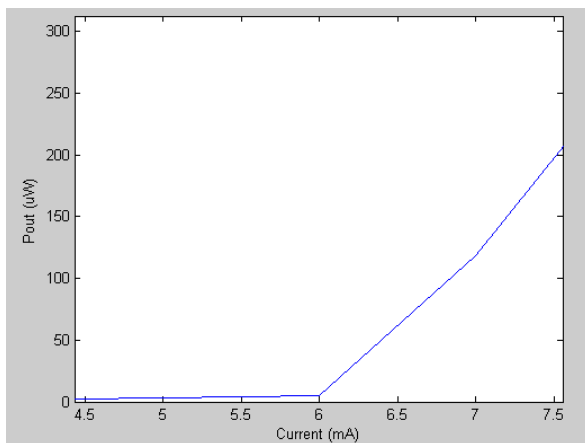
Barrido corriente a 30° del J923



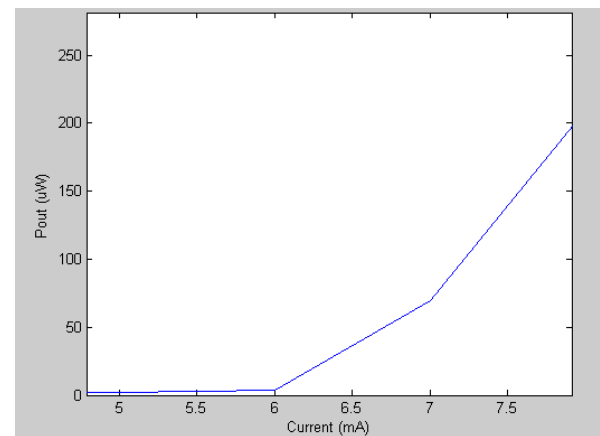
Barrido corriente a 35° del J905



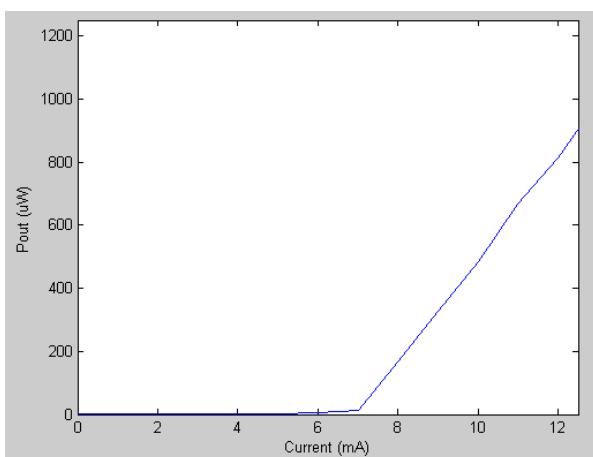
Barrido corriente a 35° del J923



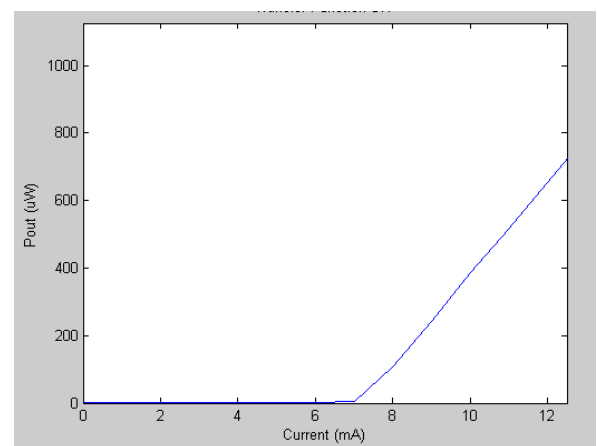
Zoom barrido corriente a 20° J905



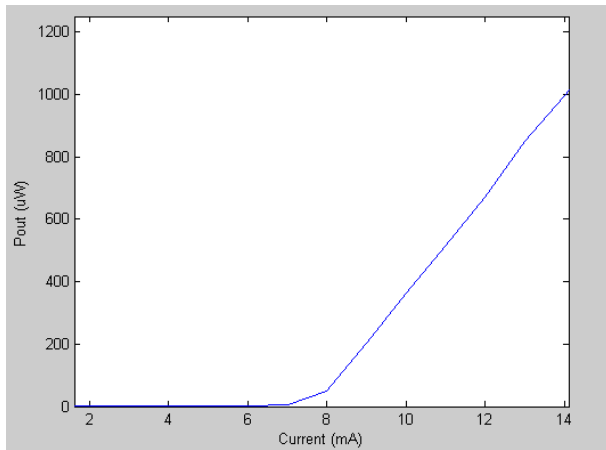
Zoom barrido corriente a 20° J923



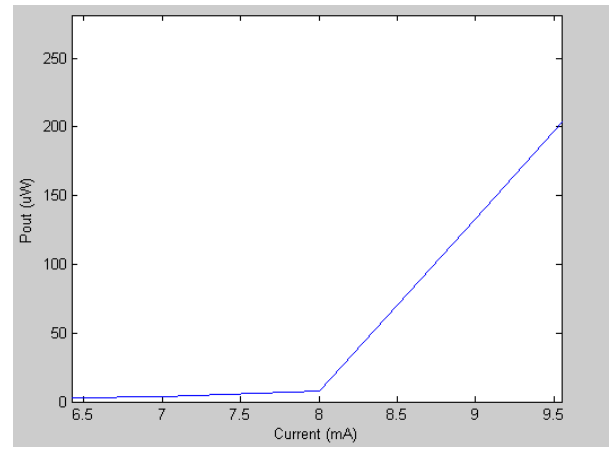
Zoom barrido corriente a 25°_J905



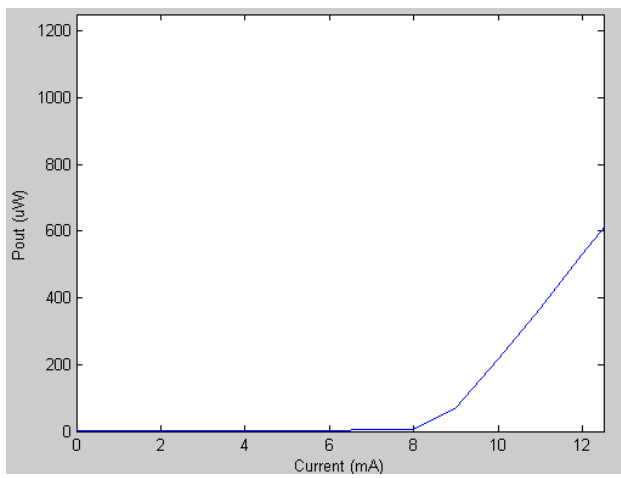
Zoom barrido corriente a 25° J923



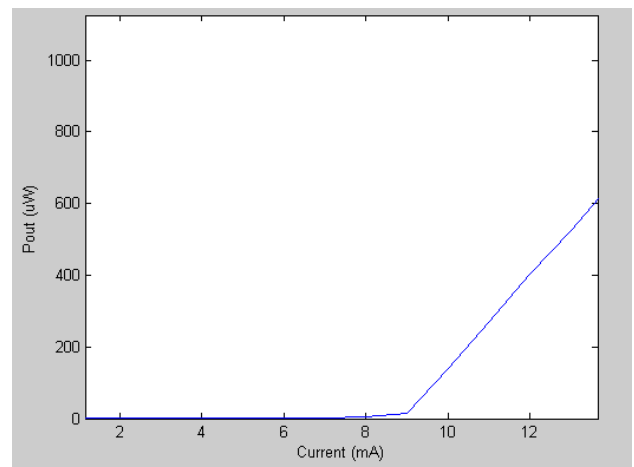
Zoom barrido corriente a 30° J905



Zoom barrido corriente a 30° J923



Zoom barrido corriente a 35° J905



Zoom barrido corriente a 35° J923

ANEXO IV. GRÁFICAS Y TABLAS DE LA CARACTERIZACIÓN MANUAL

Corriente	Temperatura (°C)	Potencia (dBm)	Potencia(mW)	λ
Para 25mA	15	4,09	2,564	1600,92
	17,5	5,26	3,357	1601,1
	20	4,9	3,090	1601,4
	22,5	4,83	3,041	1601,7
	25	4,61	2,891	1601,92
	27,5	4,19	2,624	1602,16
	30	4,49	2,812	1602,4
	32,5	3,98	2,500	1602,66
	35	4,17	2,612	1602,9
	37,5	3,74	2,366	1603,14
	40	3,35	2,163	1603,4
Para 50 mA	15	9,04	8,017	1601,1
	17,5	9,17	8,260	1601,24
	20	9,06	8,054	1601,5
	22,5	9,1	8,128	1601,87
	25	9	7,943	1602,04
	27,5	8,77	7,534	1602,32
	30	8,48	7,047	1602,57
	32,5	8,6	7,244	1602,81
	35	8,48	7,047	1603,06
	37,5	8,4	6,918	1603,3
	40	8,31	6,776	1603,55
Para 75mA	15	11,28	13,428	1601,18
	17,5	11,16	13,062	1601,53
	20	11,11	12,912	1601,71
	22,5	10,94	12,417	1602,02
	25	10,85	12,162	1602,26
	27,5	10,86	12,190	1602,51
	30	10,76	11,912	1602,76
	32,5	10,6	11,482	1603,02
	35	10,67	11,668	1603,26
	37,5	10,6	11,482	1603,51
	40	10,48	11,169	1603,76
Para 100mA	15	12,48	17,701	1601,53
	17,5	12,23	16,711	1601,8
	20	12,38	17,298	1602,04
	22,5	12,13	16,331	1602,2
	25	12,17	16,482	1602,5
	27,5	12,17	16,482	1602,75
	30	12	15,849	1603
	32,5	12,08	16,144	1603,26
	35	11,98	15,776	1603,51
	37,5	11,9	15,488	1603,76
	40	11,86	15,346	1604,02

Tabla de medidas del barrido en temperatura para el láser J905

Temperatura	Corriente(mA)	Potencia(dBm)	Potencia(mW)	λ
Para 35°C	0	0	0	
	10	-7,59	0,174180687	1602,82
	15	-0,36	0,920449572	
	20	2,25	1,678804018	
	50	7,9	6,165950019	
	70	9,5	8,912509381	
	100	11,64	14,5881426	1603,51
Para 30°C	0	0	0	
	10	-4,81	0,330369541	1602,3
	15	0,25	1,059253725	
	20	2,7	1,862087137	
	50	8,2	6,60693448	
	70	10,1	10,23292992	
	100	11,65	14,62177174	1603
Para 20 °C	0	0	0	
	10	-2,44	0,570164272	1601,38
	15	0,27	1,064143018	
	20	2,22	1,667247213	
	50	8,55	7,161434102	
	70	9,79	9,52796164	
	100	12,15	16,40589773	1602,04

Tabla de medidas del barrido en corriente para el láser J905

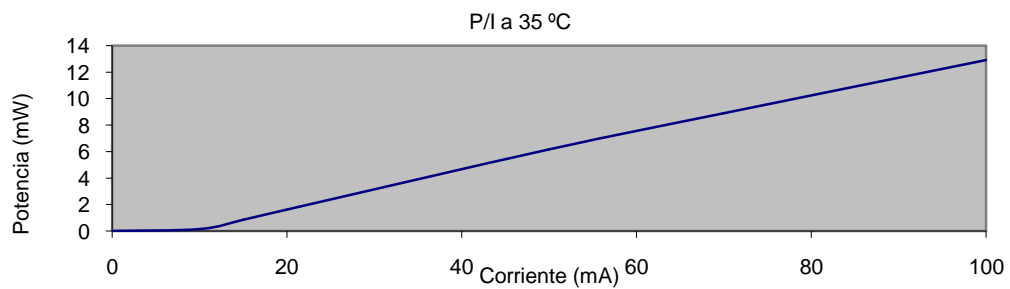
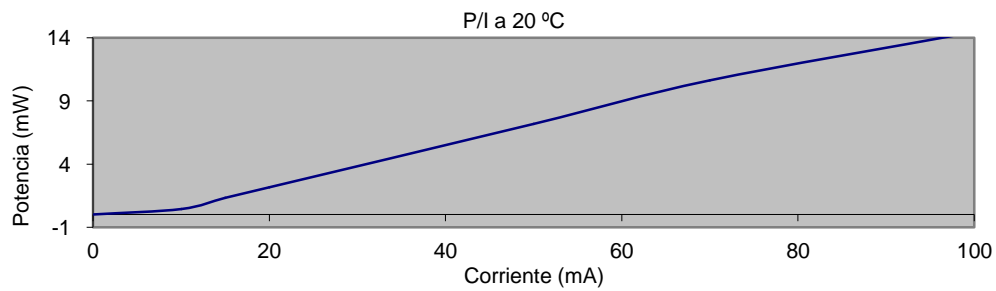
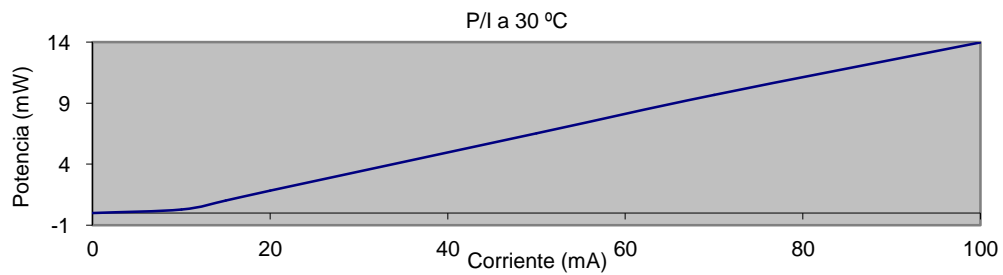
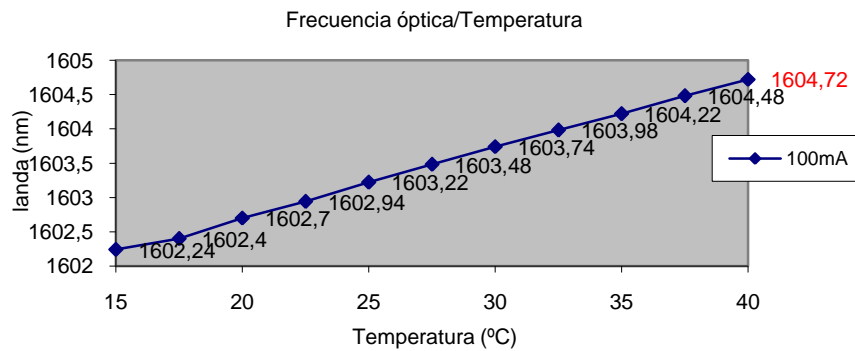
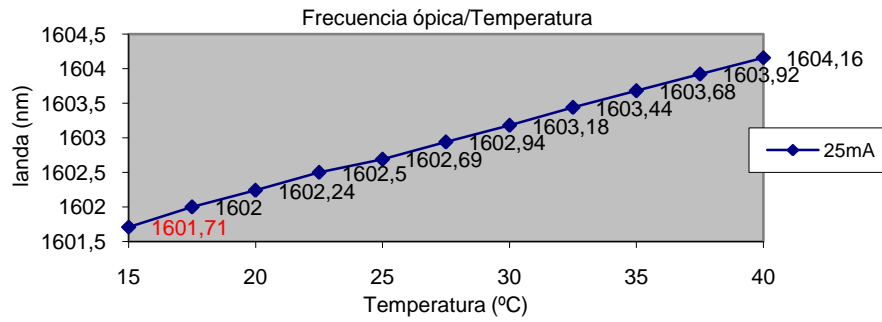
Corriente	Temperatura (°C)	Potencia (dBm)	Potencia(mW)	λ
Para 25mA	15	2,94	1,968	1601,71
	17,5	2,59	1,816	1602
	20	3,78	2,388	1602,24
	22,5	4,17	2,612	1602,5
	25	4,07	2,553	1602,69
	27,5	3,67	2,328	1602,94
	30	3,46	2,218	1603,18
	32,5	3,37	2,173	1603,44
	35	3,32	2,148	1603,68
	37,5	3,15	2,065	1603,92
	40	2,8	1,905	1604,16
Para 50 mA	15	8,13	6,501	1601,82
	17,5	8,45	6,998	1602,12
	20	8,47	7,031	1602,28
	22,5	8,37	6,871	1602,63
	25	8,23	6,653	1602,82
	27,5	8,19	6,592	1603,1
	30	8,06	6,397	1603,34
	32,5	8,03	6,353	1603,58
	35	7,93	6,209	1603,83
	37,5	7,8	6,026	1604,08
	40	7,68	5,861	1604,32
Para 75mA	15	10,37	10,889	1602,02
	17,5	10,2	10,471	1602,34
	20	10,41	10,990	1602,44

Para 100mA	22,5	10,29	10,691	1602,76
	25	10,04	10,093	1603
	27,5	10,06	10,139	1603,26
	30	9,84	9,638	1603,5
	32,5	9,51	8,933	1603,74
	35	9,66	9,247	1604
	37,5	9,69	9,311	1604,24
	40	9,31	8,531	1604,5
	15	11,78	15,066	1602,24
	17,5	11,67	14,689	1602,4
	20	11,37	13,709	1602,7
	22,5	11,52	14,191	1602,94
	25	11,55	14,289	1603,22
	27,5	11,42	13,868	1603,48
	30	11,17	13,092	1603,74
	32,5	11,1	12,882	1603,98
	35	10,9	12,303	1604,22
	37,5	10,97	12,503	1604,48
	40	10,83	12,106	1604,72

Tabla de medidas del barrido en temperatura para el láser J923

Temperatura	Corriente(mA)	Potencia(dBm)	Potencia(mW)	λ
Para 35°C	0	0	0	
	10	-8,22	0,150660707	1603,61
	15	-0,66	0,859013522	
	20	2,13	1,633051948	
	50	7,9	6,165950019	
	70	9,5	8,912509381	
	100	11,11	12,91219274	1604,26
Para 30°C	0	0	0	
	10	-5,42	0,287078058	1603,14
	15	0,14	1,032761406	
	20	2,65	1,840772001	
	50	8,15	6,531305526	
	70	9,86	9,682778563	
	100	11,45	13,96368361	1603,78
Para 20 °C	0	0	0	
	10	-3,54	0,442588372	1602,2
	15	1,24	1,330454418	
	20	3,34	2,157744409	
	50	8,56	7,177942913	
	70	10,26	10,61695557	
	100	11,6	14,45439771	1602,7

Tabla de medidas del barrido en corriente para el láser J923



Gráficas obtenidas del láser J923